

جامعة الدول العربية

المركز العربي

لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة

(أكساد)



دليل ترشيد استهلاك الوقود في العمليات الزراعية

تأليف

د. م. ناصر حبوب

دمشق - أكساد / 2021

التدقيق اللغوي

د. حسين الزعبي **د. محمد قربيصة**

المحتويات

تقديم



يؤدي ترشيد استهلاك الوقود في العمليات الزراعية دوراً مهماً في خفض تكاليف الإنتاج الزراعي، ولا سيما أن تكلفة الوقود تتراوح بين 40 و 60 % من مجمل تكاليف تشغيل الآليات المستخدمة في عملية الإنتاج، إذ يحتاج تنفيذ العمليات الزراعية ما بين 60 و 160 ليتراً / هكتار. مما يؤكد ضرورة الاهتمام بالبحوث التي تعالج مسألة استهلاك الوقود بالشكل الأمثل، وذلك من خلال الاعتماد على تقانات وإجراءات محدّدة تستلزم الارتقاء بأداء محركات الآليات الزراعية، ومنها: استعمال محركات الوقود الأعلى كفاءةً وذات الوقود المقتصد، هذا بالإضافة إلى الحكمة في استعمال الوقود من خلال سلوكيات القيادة، وتشغيل وصيانة المركبات، كلّ ذلك يؤدي إلى إنتاج زراعي بكلّف اقتصادية أقل، مما يسهم في استقرار القطاع الزراعي، وينعكس إيجاباً على الأمن الغذائي.

ويستخدم وقود الديزل في تشغيل محركات الجرارات وجميع الآليات الزراعية ذاتية الحركة مثل الحصّادة الدرّاسة والعزّاقة الدورانية وغيرها، كما يستخدم في تشغيل مضخات الري التي تعتمد على محرك احتراق داخلي، وتشغيل مجموعات التوليد الكهربائية، فالقاسم المشترك بينها جميعاً هو محرك الاحتراق الداخلي العامل على وقود الديزل.

أمام هذا الواقع، أخذ المركز العربي / أكساد زمام المبادرة لترشيد استخدام الوقود في العمليات الزراعية من خلال إعداد هذا الدليل الأول من نوعه في الوطن العربي، والذي يتضمن التدابير والإجراءات المؤدية إلى ذلك، وهذا لا يتم إلا برفع كفاءة عمل الجرارات الزراعية وتحسين قيادتها. ويعد ترشيد استهلاك الوقود أمراً حيوياً من الناحية الاقتصادية فضلاً، عن الناحية البيئية.إذ يقدم هذا الدليل عوناً للفنيين والمعنيين بالقطاع الزراعي، وتعزيزاً لقاعدة المعارف وتبادل المعلومات بين البلدان العربية.

والله ولي التوفيق.

الدكتور نصر الدين العبيد

المدير العام

مقدمة:

في بداية ظهور الآليات كان الوقود التقليدي (الأحفوري) هو الخيار الوحيد، أما الآن فقد شُرع باستخدام الوقود الحيوي رديفاً (وليس بديلاً) للوقود التقليدي، ويعد الديزل الاحفوري الوقود التقليدي شبه الوحيد للعمليات الزراعية في البلاد العربية، وذلك لعدم تمكن الديزل الحيوي من الانتشار لأسباب متعددة.

تعد تكاليف الإنتاج الزراعي من أكثر المواضيع التي يهتم بها المزارعون لما لها من تأثير مباشر في ريعية واستقرار الإنتاج الزراعي، ويشكل الديزل عصب الإنتاج الزراعي، وتقدر تكاليفه بنحو 40 إلى 60 % من مجمل تكاليف الآليات المستخدمة في الإنتاج الزراعي، وهذه نسبة كبيرة تستحق البحث عن تدابير وإجراءات لخفضها، وهذا هو الهدف الرئيس لهذا الدليل. بما أن محرك الديزل هو القاسم المشترك بين جميع مجالات استهلاك الوقود في العمليات الزراعية، فإنه سيتم التركيز على تدابير وإجراءات ترشيد استهلاك الوقود عند قيادة محركات الديزل بشكل عام.

إن تطور الزراعة يستوجب زيادة استهلاك الوقود نتيجة زيادة الاعتماد على الآليات الزراعية، لذلك أصبح لزاماً الاتجاه نحو ترشيد استخدام الوقود في جميع العمليات الزراعية، وهذا لا يتم إلا برفع كفاءة عمل الجرارات الزراعية، وتحسين قيادتها، إذ أن ترشيد استهلاك الوقود يعد إنجازاً ليس اقتصادياً فحسب وإنما بيئياً أيضاً.

تحتاج كل زراعة من الزراعات المختلفة ما بين 60 إلى 160 ليتراً/هكتار، هذا المجال الواسع ليس بسبب نوع الزراعة أو طبيعة التربة فحسب، وإنما بسبب اختلاف أسلوب استخدام الجرارات والمعدات الزراعية، لذلك من المفيد البحث عن التدابير التي تقتصد في كمية الوقود اللازمة.

يعد الديزل أحد أهم حوامل الطاقة المستخدمة في الزراعة، ومع ذلك لا يوجد سوى القليل من المراجع التفصيلية حول استهلاك الديزل في الزراعة، وذلك بسبب تنوع الأعمال التي يقوم بها الجرار، هذا بالإضافة إلى استهلاك الديزل في الآليات ذاتية الحركة، مثل الحصّادة الدرّاسة والمضخات التي تشغل بمحرك احتراق داخلي وكذلك مجموعات التوليد الكهربائية، وتجهيزات

تكييف الزراعة المحمية (القاسم المشترك بينها جميعاً هو محرك الاحتراق الداخلي الذي يعمل على وقود الديزل)، هذا بالإضافة إلى تأثير اختلاف ظروف العمل بين مزرعة وأخرى.

تختلف مؤشرات استهلاك الوقود في العمليات الزراعية عنها في السيارات والآليات الأخرى؛ إذ لا يمكن تقدير حجم الوقود المستهلك حسب المسافة المقطوعة (لكل 100 كيلومتر) كما في السيارات، وإنما يتم اعتماد أحد المؤشرات التالية:

- **"الاستهلاك النوعي للوقود":** وهو وزن الوقود المكافئ لكل واحدة طاقة (غرام/كيلو واط ساعي)، وهو من أهم مؤشرات كفاءة عمل المحرك، ويقدر الحد الأدنى للاستهلاك النوعي للوقود بحوالي 200 إلى 220 غرام/كيلو واط ساعي.

- **"الاستهلاك الكلي للوقود":** وهو حجم الوقود المستهلك في الساعة (ليتر/ساعة).

- **"الاستهلاك الفعلي للوقود":** وهو حجم الوقود المستهلك في كل هكتار (ليتر/هكتار)، وهو أهم مؤشرات استهلاك الوقود في العمليات الزراعية، وتختلف قيمته باختلاف نوع العملية الزراعية ، ومؤشرات العمل الأخرى (مثل نوع التربة).

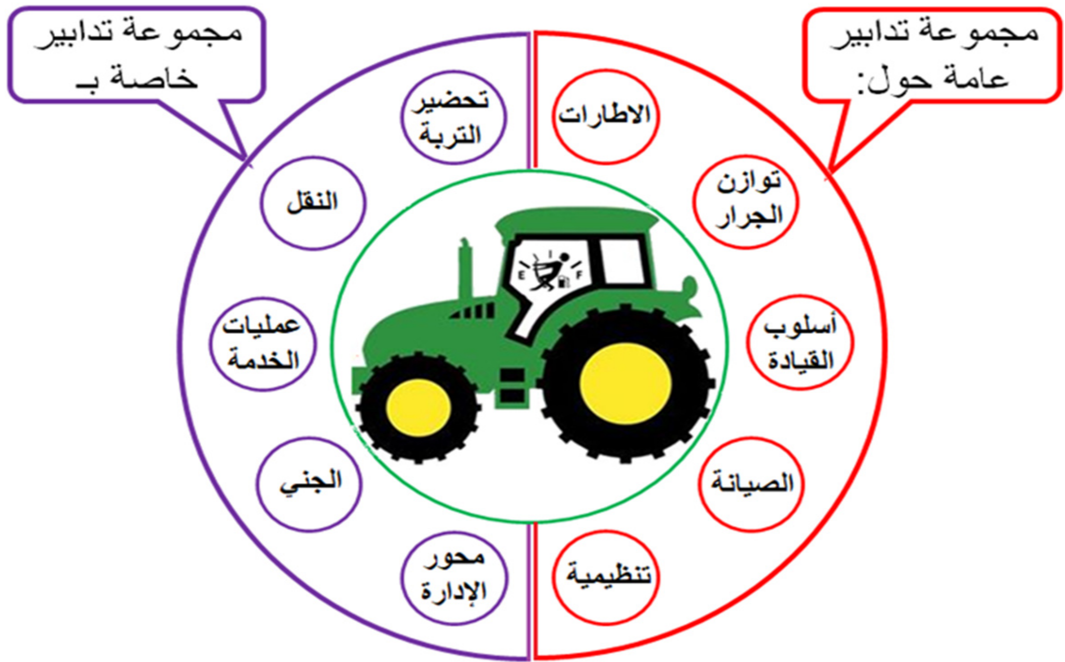
تم إعداد " دليل ترشيد استهلاك الوقود في العمليات الزراعية " ، الذي يتضمن مجموعةً واسعةً من الإرشادات والنصائح الواجب لحظها عند تنفيذ العمليات الزراعية لتقليل استهلاك الوقود في العمليات الزراعية، مع المحافظة على جودة هذه العمليات، كما يتطرق هذا الدليل إلى توضيح آلية تأثير هذه التدابير في ترشيد استهلاك الوقود، ويجب أن تكون هذه التدابير سهلة وواقعية دون بذل جهد تقاني كبير، ويمكن للسائق تطبيقها.

يتضمن هذا الدليل مقدمةً عامة وثلاثة فصول رئيسة هي:

* **الجرار الزراعي:** ويتضمن معلومات موجزة عن تركيب الجرار، وأنواع الجرارات الزراعية ومعلومات عن احتراق الوقود.

* **التدابير العامة لترشيد استهلاك الوقود في العمليات الزراعية:** يتضمن بيان العوامل ذات التأثير العام في جميع، أو معظم العمليات الزراعية، وتأثيرها في استهلاك الوقود.

* **التدابير الخاصة لترشيد استخدام الوقود في العمليات الزراعية:** ويتضمن تحديد التدابير النوعية الخاصة بترشيد استهلاك الوقود في عمليات زراعيـة محددة.



1. الجرار الزراعي:

الجرار الزراعي، آلية تعمل على تشغيل (جر، أو دفع، أو حمل، أو تحريك) الآلات الزراعية الملحقة به مباشرة، أو تزويد آلات أخرى ثابتة على الأرض بالطاقة الحركية اللازمة لتشغيلها.

1. 1. تصنيف الجرارات الزراعية:

تصنف الجرارات الزراعية حسب المعايير التالية:

- **عدد المحاور**؛ فمعظم الجرارات ثنائية المحور، عدا ما يسمى "العزّاقة الدورانية"، فهي جرار وحيد المحور.
- **أسلوب الدفع**؛ فإما أن تكون الجرارات ذات دفع خلفي فقط (الجرارات التقليدية)، أو أن تكون ذات دفع أمامي خلفي (دفع كامل).
- **مجال الاستخدام التخصصي** (جرارات خدمة البساتين ، وجرارات خدمة المحاصيل، وجرارات خدمة الخضار ، وجرارات خدمة الغابات، وجرارات الخدمة العامة).
- **نوع الهيكل**؛ فمعظم الجرارات هيكلية، أو نصف هيكلية، وقد تكون لا هيكلية، مثل الجرارات وحيدة المحور.
- **نوع جهاز المسير**؛ فإما أن تكون الجرارات ذات جهاز مسير مجنزر (وهي قليلة جداً)، أو ذات دواليب، وهي الغالبة، علماً أن كفاءة عمل الجرارات المجنزرة أفضل.
- **فئة قوة الجر**؛ إذ توجد الفئات: 2 كيلو نيوتن، 5 كيلو نيوتن و 10 كيلو نيوتن.

* يلاحظ أنه لا يوجد تصنيف للجرارات حسب استطاعة المحرك، لأن استطاعة المحرك بحد ذاتها غير مهمة للجرار بقدر أهمية قوة الجر التي يمكن الحصول عليها من هذه الاستطاعة، ولتوضيح ذلك لا بد من الحديث عن أشكال الاستطاعة بشكل مختصر، وذلك لفهم تحولات الاستطاعة التي تحدث في أثناء العمليات الزراعية.

1. 2. أشكال الاستطاعة:

للاستطاعة تعاريف عدّة، أهمها أنها مقدار العمل المنجز خلال واحدة الزمن وواحدتها واط = نيوتن.متر/ثانية. ولها أشكال مختلفة، ويمكن أن تتحول من شكل إلى آخر، ويكون التحول دائما مترافقاً مع ضياع جزء من الاستطاعة، وهذا ما يعبر عنه بالمردود.

وأهم أنواع الاستطاعة بالنسبة إلى العمليات الزراعية:

- **الاستطاعة الخطية (استطاعة الجر):** هي عبارة عن جداء قوة الجر(نيوتن) بالسرعة الخطية (متر/ثانية).
- **الاستطاعة الدورانية:** هي عبارة عن جداء عزم الدوران (نيوتن.متر) بالسرعة الدورانية (1/ثانية).
- **الاستطاعة الهيدروليكية:** هي عبارة عن جداء التدفق (متر مكعب/ثانية) بالضغط (نيوتن/متر مربع).

يلاحظ أن جميع هذه العلاقات تعطي قيمة الاستطاعة على شكل حاصل جداء حدين، أي أن زيادة أحدهما يجب أن يترافق مع نقصان الآخر للمحافظة على قيمة الجداء ثابتةً، ففي حالة الاستطاعة الخطية يمكن استهلاك الاستطاعة نفسها إما بشكل سرعة أمامية (خطية) كبيرة وقوة جر محدودة، أو بشكل قوة جر كبير وسرعة أمامية محدودة. لهذا السبب:

تكون السرعة العظمى للجرارات محدودة جداً، وذلك للاستفادة من استطاعة محرك الجرار بأكبر قوة جر ممكنة.

لا تعتمد استطاعة المحرك للتصنيف، وإنما تعتمد قوة الجر الممكنة من هذه الاستطاعة.

من المميزات المهمة للجرارات أيضاً أن علبة سرعتها تكون مركبة (علبة سرعة رئيسية، وأخرى ثانوية)، وبالتالي تصبح احتمالات نسبة نقل الحركة من المحرك إلى أجهزة المسير متعددة، وذلك للاستفادة من استطاعة المحرك بأفضل قوة جر ممكنة **(الشكل 1)**. تحتوي علبة السرعة الرئيسة على أربع سرعات غالباً، وعلبة السرعة الثانوية على سرعتين (على الأقل) بالإضافة إلى السرعة الخلفية.



الشكل 1 . ذراع علبة السرعة الرئيسة، وذراع علبة السرعة الثانوية.

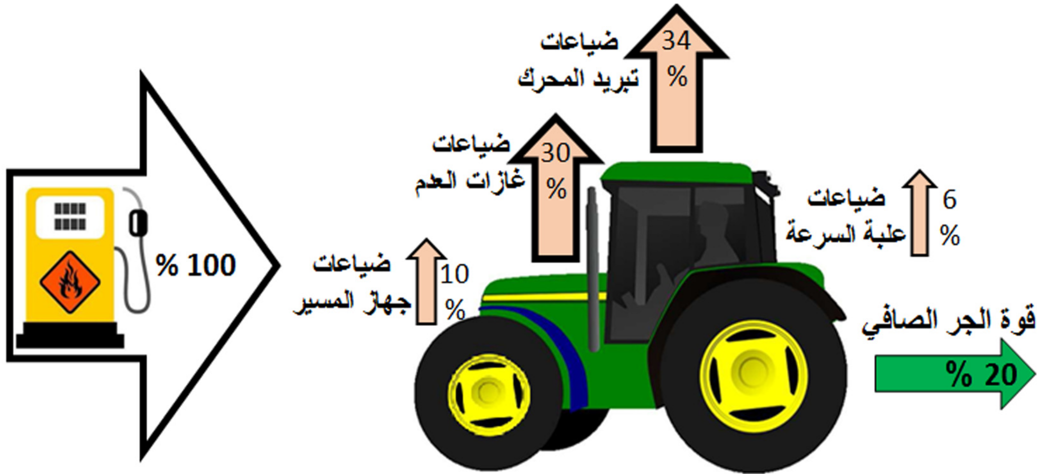
1. 3. مردود الاستطاعة:

أساس استطاعة الجرار هو الاستطاعة الحرارية الناتجة عن احتراق الوقود، والتي يتم تحويلها في حجرة احتراق المحرك إلى استطاعة ميكانيكية ترددية، تتحول من خلال آلية ذراع التوصيل إلى استطاعة دورانية لعمود المرفق. إن الضياعات المرافقة لتحولات الاستطاعة في المحرك كبيرة جداً:

- مردود محرك الديزل نحو 30 إلى 38 %.
- مردود علبة السرعة وأجهزة نقل الحركة 80 إلى 85 %.
- مردود جهاز المسير 65 % (عند انزلاق نسبي 10 %).

المردود الكلي هو حاصل جداء المردودات السابقة ويساوي نحو 20 %.

يفقد المحرك جزءاً من استطاعته الدورانية في علبة السرعة وجزءاً آخر في بقية أجهزة نقل الحركة، ولا يتبقى سوى نحو 20 % كاستطاعة خطية (استطاعة الجر الصافي) **(الشكل 2)**.



الشكل 2. توزع الطاقة في الجرار الزراعي.

إن ترشيد استهلاك الوقود يبدأ من تحسين مردود تحول الاستطاعة بدءاً من الاستطاعة الكيمائية للوقود إلى الاستطاعة الدورانية للمحرك، مروراً بالاستطاعة الميكانيكية الترددية. تجمع المراجع العلمية على أن تكاليف الوقود تشكل نحو 40 % من مجمل تكاليف تشغيل الجرارات في

العمليات الزراعية، وللأسف لا يوجد مراجع عربية معتمدة لهذه القيمة التي يعتقد أن تكون بين 40 و 60 % في البلاد العربية.

إن تكاليف الوقود هي الأكبر بين مكونات تكاليف الآليات الزراعية، وبالتالي فإن الترشيد فيها مهم جداً، ولا سيما أنها يومية مستمرة.

يحتوي الجرار على مجموعة كبيرة جداً من الأجزاء التي تعمل في جو مليء -غالباً- بالأتربة والغبار، وتضمن الشركات الصانعة للجرارات جودة ودقة التصميم، إلا أن عمر الجرار يعتمد أساساً على سائق الجرار، فقد يكون استهلاك الجرار للوقود كبيراً جداً، إذا كان السائق مهملاً أوعديم الخبرة، في الوقت نفسه يمكن أن يعمل الجرار لسنوات عديدة وبدقة وكفاءة عالية ودون مشاكل إذا كان السائق مدرباً التدريب المناسب على عمليات التشغيل والصيانة.

2. التدابير العامة لترشيد استهلاك الوقود في العمليات الزراعية:

2. 1. تدابير حول الإطارات:

تعد الإطارات المطاطية من أهم العوامل المؤثرة في كفاءة عمل أي آلية، ولاسيما الآليات الزراعية، وذلك لصعوبة وعدم استقرار التربة الزراعية التي هي سطح الاستناد بالنسبة لها. تقوم الإطارات المطاطية بتحويل الاستطاعة الدورانية القادمة من المحرك إلى استطاعة خطية (قوة جر)، لذلك تسهم طبيعة التماس (التماسك) بين مداس الإطارات وسطح الاستناد بشكل فعال في كفاءة تكوين قوة الجر، ويرافق تحول الاستطاعة من أحد أشكالها إلى أي شكل آخر ضياعات معينة، ويؤمل من خلال هذا الدليل تسليط الضوء على أهم الارشادات التي من شأنها تقليل هذه الضياعات إلى أقل حد ممكن مما ينعكس إيجاباً على استهلاك الوقود.

يكون تأثير الإطارات من خلال:

نوعها: يوجد نوعان رئيسيان من الإطارات.

نوع سطح الاستناد: يجب التمييز بين عمل الإطارات فوق الأرض الزراعية وعملها فوق الطرق المعبدة

طبيعة العمل: يختلف أداء الإطارات القائدة عن أداء الإطارات المنقادة

قيمة ضغط الهواء في الإطارات: يؤثر ضغط الهواء في الإطار في أداء عمل الإطار بشكل مختلف في كل حالة من الحالات السابقة.

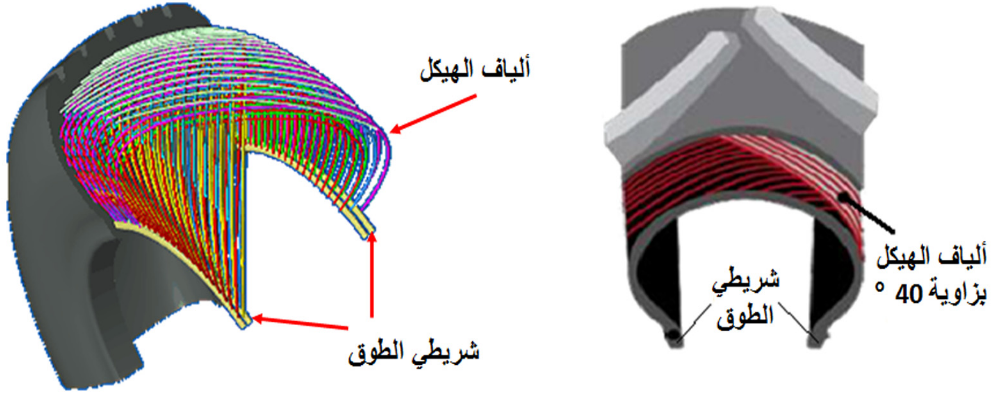
2. 1. 1. تأثير نوعية الإطارات:

تؤثر نوعية الإطارات بشكل كبير في استهلاك الوقود لأية آلية، وللجرارات بشكل خاص، ولمعرفة آلية هذا التأثير سيتم عرض أنواع الإطارات.

تتركب الإطارات المطاطية بشكل عام من شريطي الطوق وألياف الهيكل والجدران والمداس **(الشكلان 3 و4)**. ومهمة ألياف الهيكل هي تأمين المتانة وتحديد حجم وأبعاد الإطار. يوجد نوعان من الإطارات المطاطية (راديال ودياغونال)، لكل منهما ميزاته الإيجابية والسلبية حسب متطلبات العمل، وتتوضع ألياف الهيكل على شكل طبقات ضمن مطاط الإطار ومهمتها تأمين متانة وليونة جدران ومداس الإطارات، هذا بالإضافة إلى تحديد حجم وأبعاد الإطار، وتختلف إطارات الراديال عن إطارات الدياغونال بطريقة توزيع ألياف الهيكل ضمن مطاط الإطارات؛ ويمكن توضيح هذا

الاختلاف كما يلي:

- **إطارات الدياغونال:** تكون زاوية انطلاق ألياف الهيكل من شريط الطوق الأول ± 40° **(الشكل 3)** إلى شريط الطوق المقابل، وبالتالي يمكن تشكيل طبقات متقاطعة (شبه متعامدة) من الألياف، وهذا يحقق المتانة في جميع الاتجاهات (جدران الإطار ومداسه).



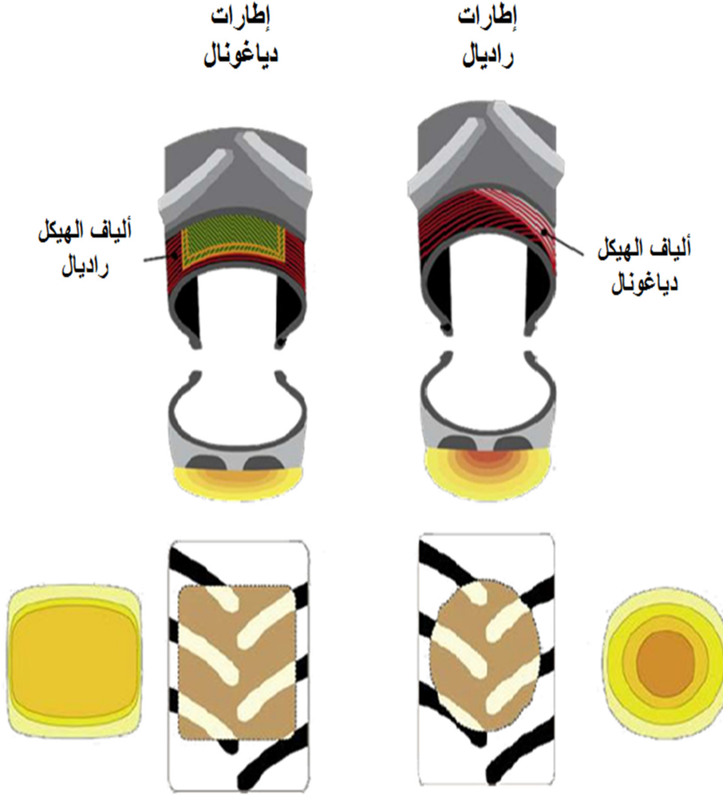
الشكل 3. طريقة بناء إطارات الدياغونال.

- **إطارات الراديال:** يكون اتجاه الألياف موحداً وبزاوية 90 ° **(الشكل 4)**، لذلك لا يمكن تحقيق تصالب بين الألياف مهما ازدادت طبقاتها، مما يجعل متانتها قليلة، إلا أن ليونتها تكون عالية، وهي ميزة إيجابية تزيد من مساحة سطح الاستناد، ولتحقيق المتانة اللازمة لمنطقة مداس الإطار تمت إضافة حزام من الألياف يتعامد مع ألياف الهيكل الأصلية.



الشكل 4. طريقة بناء إطارات الراديال .

ينصح باستخدام إطارات الراديال في جميع المجالات الزراعية لأن مساحة سطح استنادها على الأرض أكبر **(الشكل 5)** بسبب ليونة جدرانها، أما إطارات الدياغونال فينصح باستخدامها في المجالات التي تتطلب متانة كامل الإطار (المداس والجدران).



الشكل 5. الفرق بين مساحة سطح استناد إطارات الراديال والدياغونال.

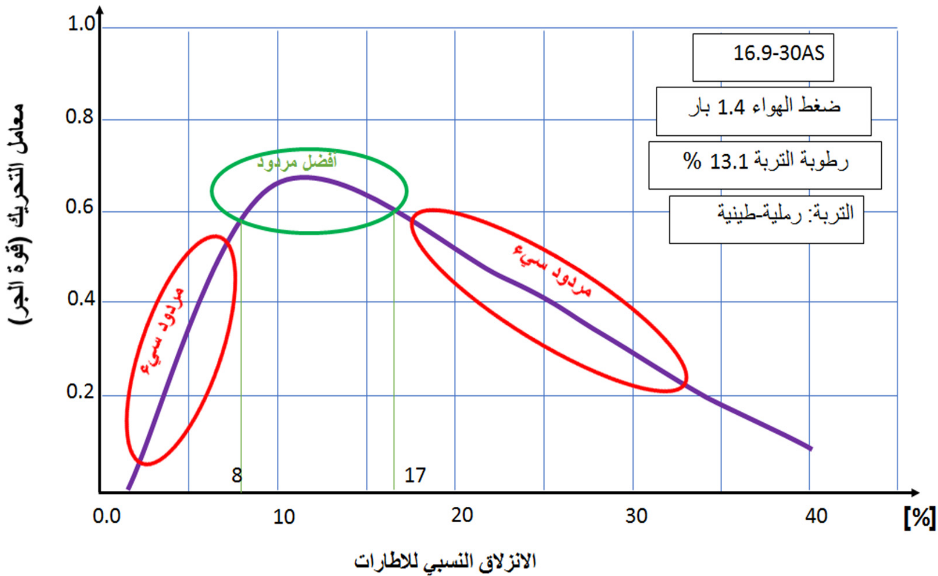


2. 1. 2. تأثير نوع سطح الاستناد:

تختلف طبيعة عمل الإطارات التي تعمل في الأراضي الزراعية عن طبيعة تلك التي تعمل على الطرق المعبدة، وبما أن العمل على الطرق المعبدة مستقل نسبياً تم تخصيص فقرة خاصة (صفحة 57).

2. 1. 3. تأثير طبيعة عمل الإطارات:

تكون العجلات المطاطية (العجلة المطاطية = العجلة المعدنية + الإطار المطاطي) إما قائدةً أو منقادة، ويختلف أداء الإطارات المطاطية في كل حالة منهما، وكل إطار (قائد أم منقاد) يتعرض إلى قوة مقاومة تدحرج في أثناء حركته، ويجب أن تكون هذه القوة في الحدود الدنيا قدر الإمكان، لأن زيادتها تزيد من استهلاك الوقود، والمهمة الأساسية للعجلات القائدة في الآليات الزراعية (بالإضافة إلى مهمة الاستناد، وأحياناً التوجيه) هي تحقيق أكبر قوة جر ممكنة من الاستطاعة المتوفرة، لذلك يجب أن تحقق إطاراتها المطاطية أكبر قوة تماسك مع سطح الاستناد، ويوضح المخطط البياني في **الشكل 6** أن المردود الأعظمي لقوة الجر (أفضل ترشيد لاستهلاك الوقود) يكون ضمن مجال الانزلاق النسبي بين 10 و 15 %،



الشكل 6. مردود نقل الحركة لأجهزة مسير الجرارات الزراعية.

يجد معظم المزارعين صعوبة في تقدير قيمة الانزلاق النسبي للعجلات القائدة للجرار؛ لذلك سيتم فيما يأتي عرض فكرتين للمساعدة على تقدير ذلك:

عند النظر بشكل جانبي إلى العجلات القائدة للجرار يجب عدم ملاحظة انزلاق العجلات بالعين المجردة، وإلا فإن قيمة الانزلاق أكبر من 15 %.



ينصح بأن تكون قيمة الانزلاق النسبي للإطارات القائدة بين 10 إلى 15 % لأنها تحقق أفضل مردود لنقل الحركة، وبالتالي اقتصاداً في الوقود.

عند ملاحظة أثر العجلات القائدة للجرار **(الشكل 7)** يمكن التمييز بين الحالات الثلاث التالية:

انزلاق نسبي قليل جداً أثر أعراف مداس الإطار ظاهر بشكل كامل ودون أي تخريب يذكر وذلك نتيجة التحميل الزائد للعجلات القائدة.	**انزلاق نسبي معتدل** أثر أعراف مداس الإطار ظاهر ولكن بشكل غير واضح وذلك نتيجة التحميل المناسب للعجلات القائدة.	**انزلاق نسبي كبير جداً** أثر أعراف مداس الإطار ممسوح بالكامل، وذلك نتيجة التحميل القليل للعجلات القائدة.
ينصح بتخفيف الحمولة المحورية	-	**ينصح بزيادة الحمولة المحورية**

الشكل 7. طرائق تقدير الانزلاق النسبي للإطارات القائدة من خلال شكل أثر هذه الإطارات.



2. 1. 4. تأثير قيمة ضغط الهواء في الإطارات:

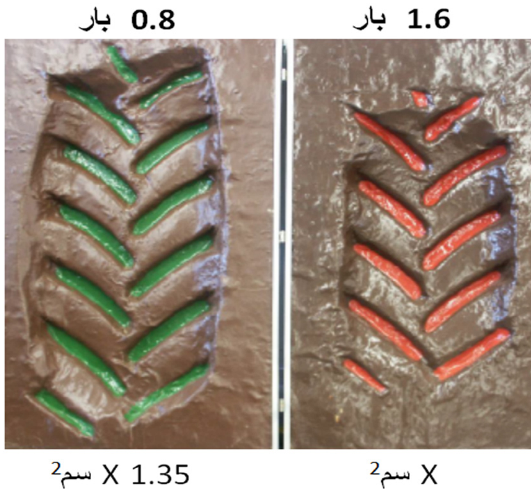
يزيد خفض ضغط الهواء في الإطارات من مساحة سطح استنادها، وهذا يحسن من كفاءة عمل أجهزة المسير، ويزيد من قوة الجر الممكنة من الاستطاعة المتوفرة نفسها، ويقلل رص التربة. مع الإشارة إلى أن خفض ضغط الهواء في الإطارات يزيد من معامل التدحرج (قوة مقاومة التدحرج)، وسيرد الشرح عن علاقة الارتباط بينهما.

يرتبط تحديد قيمة ضغط الهواء في الإطارات الزراعية بنوع المهمة التي يقوم بها؛ فعند العمل في الحقل الذي يتطلب تأمين أكبر قوة جر ممكنة ينصح بخفض ضغط الهواء في الإطارات (إلى الحدود الدنيا المسموح بها)، بالرغم من الزيادة التي ستحصل بقوة مقاومة التدحرج، لأن الزيادة في قوة الجر الناتجة عن خفض ضغط الهواء في الإطارات تكون أكبر بكثير من الزيادة بقوة مقاومة التدحرج. أما عند العمل على الطرق المعبدة فينصح بزيادة ضغط الهواء بالإطارات (إلى الحدود العليا المسموح بها)، وذلك لعدم الحاجة إلى قوى جر كبيرة، وبالتالي تكون الأولوية لتقليل قوة مقاومة التدحرج قدر الإمكان.

ويختلف تأثير خفض ضغط الهواء في الإطارات الزراعية عنه في إطارات النقل، كما يختلف تأثيره فيما إذا كانت الإطارات قائدة أم منقادة. ولتوضيح تأثير خفض ضغط الهواء في الإطارات الزراعية في ترشيداستهلاك الوقود لا بد من بيان تأثيره في الأمور التالية:

2. 1. 4. 1. تأثير خفض ضغط الهواء في الإطارات في مساحة سطح الاستناد:

بشكل عام تزداد مساحة سطح الاستناد عند خفض ضغط الهواء في جميع أنواع الإطارات **(الشكل 8)**؛ إلا أن خفض ضغط الهواء في الإطارات عند الأعمال الحقلية يكون واجباً، لأنه يقلل من الانزلاق النسبي، ويقلل الرص، ويزيد قوة الجر، ويقلل الاستهلاك النوعي للوقود، ويزيد مقاومة التدحرج، لكن الزيادة الحاصلة في مقاومة التدحرج أقل بكثير من الزيادة الحاصلة في قوة الجر.



الشكل 8. اختلاف مساحة سطح الاستناد باختلاف ضغط الهواء في الإطار.

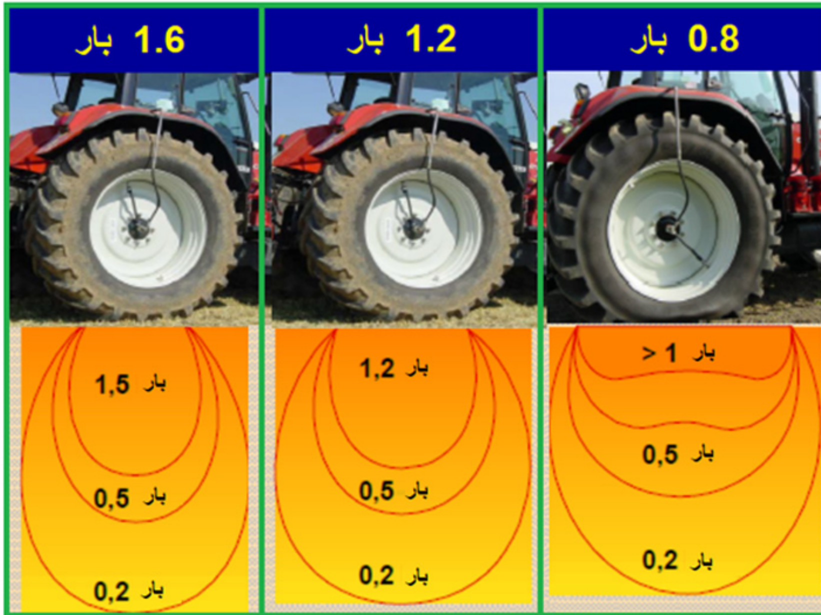
أما عند العمل فوق الطرق المعبدة فالظروف تكون مختلفة تماماً؛ فقوة الجر ليست أولوية، وبالتالي ينصح بزيادة ضغط الهواء في الإطارات لأن تقليل مساحة الاستناد تسهل تدحرج العجلات بأقل قوة جر (تقليل قوة مقاومة التدحرج)، وليس هناك مشكلة من رص التربة.

ينصح بخفض ضغط الهواء في الإطارات
إلى الحدود الدنيا المسموح بها
عند الأعمال الحقلية
لأنه يزيد من مساحة سطح الاستناد،
ويقلل من الاستهلاك النوعي للوقود

ينصح بزيادة ضغط الهواء في الإطارات
إلى الحدود العليا المسموح بها
عند السير فوق الطرق المعبدة
لأنه يقلل من مساحة سطح الاستناد،
ويقلل من مقاومة التدحرج،
ويقلل من الاستهلاك النوعي للوقود.

2. 1. 4. 2.تأثير خفض ضغط الهواء في الاطارات في رص التربة:

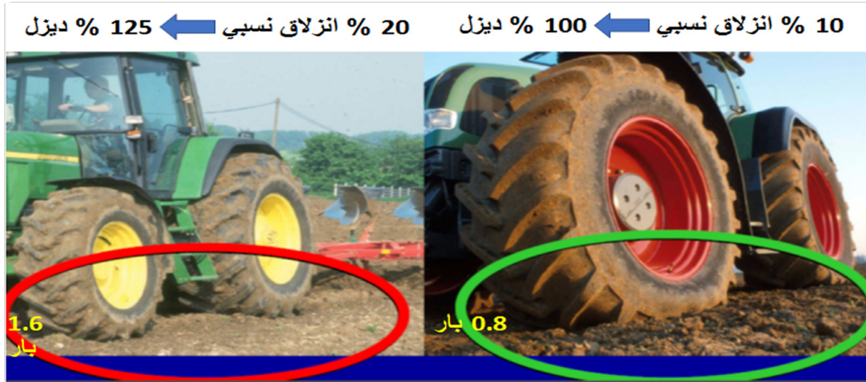
إن خفض ضغط الهواء في الإطارات يقلل من رص التربة نتيجة مرور الإطارات عليها، وذلك نتيجة تقليل قيمة الضغط النوعي المؤثر في مساحة سطح الاستناد **(الشكل 9)**.



الشكل 9. اختلاف التأثير فيرص التربة باختلاف ضغط الهواء في الإطارات.

2. 1. 4. 3. تأثير خفض ضغط الهواء في الإطارات في قوة تماسك سطح الاستناد:

يعبر الانزلاق النسبي للإطارات عن مقدار تماسكها مع سطح الاستناد. إن خفض ضغط الهواء في الإطارات يقلل انزلاقها النسبي **(الشكل 10)**، وبالتالي يقلل من الاستهلاك النوعي للوقود.



الشكل 10. تأثير خفض ضغط الهواء في الإطارات في انزلاقها النسبي.



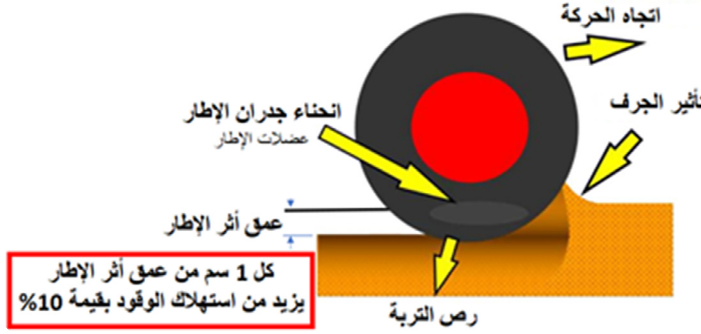
2. 1. 4. 4. تأثير خفض ضغط الهواء في الإطارات في انغراس الإطارات في التربة:

إن خفض ضغط الهواء في الإطارات الزراعية يقلل من عمق انغراسها في التربة الزراعية **(الشكل 11)**.

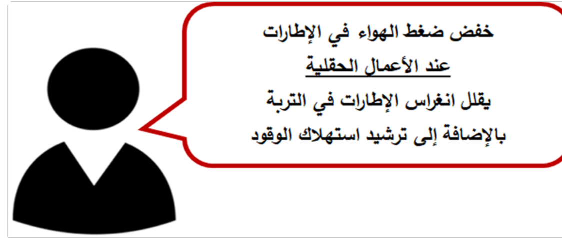


الشكل11. تأثير خفض ضغط الهواء في عمق انغراس الإطارات في التربة الزراعية.

إن زيادة عمق انغراس الإطارات يعني زيادة كبيرة في مقاومة التدحرج وتقليل قوة الجر، وذلك بسبب زيادة تأثير الجرف **(الشكل 12)**، وبالتالي زيادة كبيرة في الاستهلاك النوعي للوقود.



الشكل 12. يوضح سبب زيادة مقاومة التدحرج عند خفض ضغط الهواء في الإطارات.



2. 1. 4. 5. تأثير خفض ضغط الهواء في الإطارات في مقاومة التدحرج:

بشكل عام إن خفض ضغط الهواء في الإطارات له إيجابيات وسلبيات، فمن السلبيات أنه يزيد من مقاومة تدحرج الإطارات بفعل تأثير الجرف **(الشكل 12)**، إلا أنه في حالة الإطارات الزراعية يمكن التغاضي عن هذه السلبية مقابل الإيجابيات الأخرى كتقليل الرص، وتقليل الانزلاق النسبي، وزيادة قوة الجر،..، أما في حالة إطارات النقل فإن زيادة مقاومة التدحرج سلبية بالمطلق دون أية إيجابيات تذكر.



2. 1. 4. 6. تأثير خفض ضغط الهواء في الإطارات في قوة الجر الممكنة:

ترتبط قوة الجر الممكنة ليس فقط باستطاعة المحرك، وإنما بتماسك الإطارات مع سطح الاستناد ومقاومة التدحرج أيضاً، لذلك يعد خفض ضغط الهواء في الإطارات الزراعية من أهم العوامل المؤثرة في زيادة قوة الجر الممكنة، لأنه يحسن من تماسك الإطارات مع التربة الزراعية، أما في حالة إطارات النقل فإن قوة الجر اللازمة تكون بسيطة، ولا تستدعي البحث عن سبل لزيادتها. تجدر الإشارة هنا إلى أن خفض ضغط الهواء في الإطارات يزيد مقاومة التدحرج أيضاً، وقد يبدو ذلك متعارضاً مع زيادة قوة الجر الممكنة، وتفسير ذلك هو أن الزيادة الحاصلة في قوة الجر تكون أكبر بكثير من الزيادة الحاصلة في مقاومة التدحرج، وبالتالي من حيث النتيجة فإن خفض ضغط الهواء في الإطارات الزراعية ضروري ومفيد بالرغم من سلبية زيادة مقاومة التدحرج.



2. 1. 4. 7. تأثير خفض ضغط الهواء في الاطارات في الاهتراء:

من الملفت أن خفض ضغط الهواء في الإطارات الزراعية يساعد على تقليل اهترائها، وزيادة عمرها الاستثماري **(الشكل 13)**، أما خفض ضغط الهواء في إطارات النقل فهو غير مرغوب به، ليس لأنه يزيد من استهلاك الوقود فقط، وإنما لأنه يزيد من اهتراء الإطارات أيضاً.



الشكل 13. خفض ضغط الهواء في الإطارات الزراعية يقلل من اهترائها.



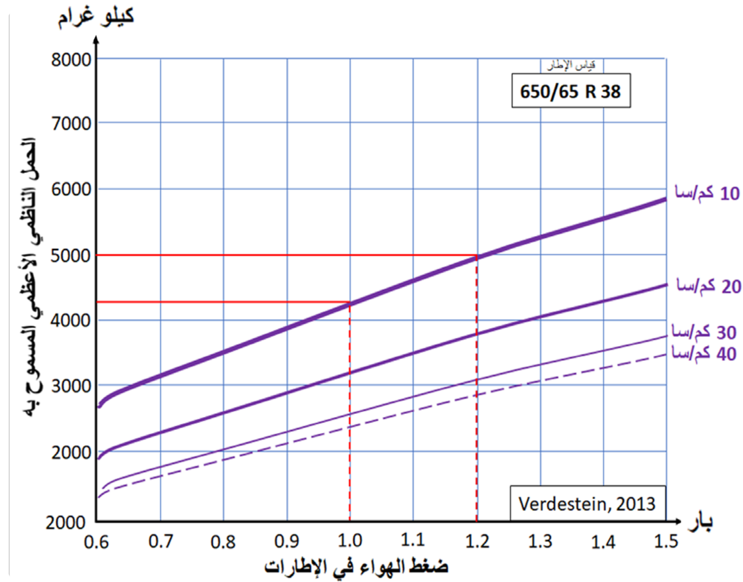
والاسئلة التي تتبادر إلى ذهن الجميع هي:

إلى أية قيمة يمكن خفض ضغط الهواء في الإطارات عند الأعمال الحقلية؟

وإلى أية قيمة يمكن زيادة ضغط الهواء في الإطارات عند السير فوق الطرق المعبدة؟

للإجابة على ذلك يجب معرفة أن لكل إطار حدوداً عليا ودنيا لضغط الهواء، وهذا يتعلق بنوع الإطار وحجمه ومقدار الحمولة الناظمية المؤثرة فيه؛ وتجدر الإشارة إلى أن خفض ضغط الهواء في أي إطار يؤدي إلى خفض مقدرة هذا الإطار على تحمل الحمولات الناظمية.

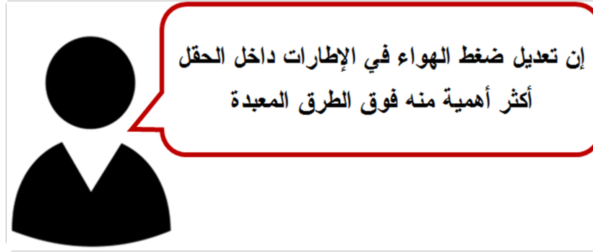
يلاحظ من المخطط البياني **(الشكل 14)** أن زيادة ضغط الهواء في الإطار من 1.0 إلى 1.2 بار يؤدي إلى زيادة مقدرة الإطار على تحمل الحمولات الناظمية بنحو 700 كيلو غرام.



الشكل 14. تأثير ضغط الهواء في الإطارات في مقدرتها على تحمل الحمولات الناظمية.

أما على الطرق المعبدة، فتكون الجرارات الحديثة مجهزة بنظام تحكم بضغط الهواء في الإطارات إذ:

- يمكن ضبط ضغط الهواء في الإطارات بشكل تلقائي حسب قيمة الحمل الناظمي المطبق عليها، والتي تعطية الحساسات المثبتة على محاور الآلية.
- يمكن للسائق أيضاً أن يغير ضغط الهواء في كل إطار في أثناء الحركة حسب الحاجة.



مثال:

يمكن من خلال خفض ضغط الهواء في الإطارات من 1.6 إلى 1.1 بار:

تقليل الانزلاق النسبي في أعمال الجر الثقيلة من 25 إلى 15 % (تقليل استهلاك الوقود بنسبة 12 % تقريباً).

تقليل الانزلاق النسبي في أعمال الجر الأخف من 18 إلى 10 % (تقليل استهلاك الوقود بنسبة 9 % تقريباً)، وبالتالي خفض الاستهلاك المطلق للوقود وتقليل ساعات العمل.

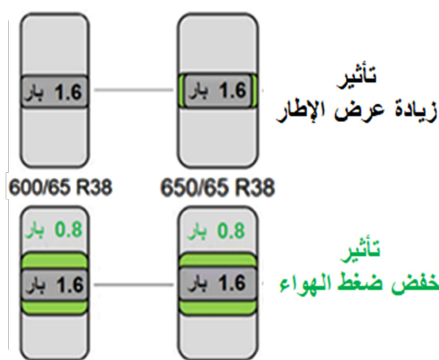
2. 1. 5. إطارات أعرض أم خفض ضغط الهواء فيها؟

إن زيادة مساحة سطح استناد الإطارات في أثناء الأعمال الحقلية يحسن من تماسك الإطار مع التربة، ويزيد كفاءة العمل، يمكن تحقيق ذلك إما من خلال خفض ضغط الهواء في الإطارات نفسها أو اختيار إطارات ذات عرض أكبر:

في حال خفض ضغط الهواء لإطار 65 600/R38 من 1.6 إلى 0.8 بار ستزداد منطقة التلامس بنسبة 100 % **(الشكل 15)**.

أما عند استعمال إطار آخر أعرض65 650/R38 مع المحافظة على ضغط الهواء في الإطارات كما هو (1.6 بار) فإن منطقة التلامس ستزداد بنسبة 10 % فقط !

وذلك لأن زيادة عرض الإطار (مع ضغط الإطارات نفسه) يزيد مساحة التلامس على الجانبين فقط، أما خفض ضغط الهواء في الإطار فإنه يزيد من طول منطقة التلامس، مما يزيد مساحتها بنسبة أكبر، ويزيد من عدد أعراف المداس المنغرسة في الأرض، وبالتالي تحسين كفاءة الجر، وتقليل الانزلاق النسبي للإطارات.



الشكل 15. تأثير زيادة عرض الإطار وتأثير خفض ضغط الهواء في الإطار في مساحة الاستناد.

مثال:

المحراث	ضغط الهواء في الإطارات (بار)	الانزلاق النسبي %	التوفير(% وقود)
محراث حفار:	1.6 بار	18	
	1.0 بار	10	
			- 9 % وقود أقل
محراث مطرحي:	1.6 بار	25	
	1.0 بار	15	
			- 12 % وقود أقل



يؤدي خفض ضغط الهواء في الإطارات من 4 إلى 1 بار (في الحقل) إلى انخفاض عمق انغراس العجلات في التربة بنسبة 47 %، وتوفير بالوقود إلى نحو 15 %.

إن تحويل أجهزة المسير المطاطية إلى شبه المجنزرة (إضافة حزام مطاطي ذي مداس زراعي حول كل زوج من الإطارات الأمامية والخلفية) يؤدي إلى زيادة قوة الجر الممكنة من الاستطاعة المتوفرة نفسها مع التقليل من الانزلاق النسبي، وبالتالي التقليل من استهلاك الوقود.

إن خفض ضغط الهواء في الإطارات الزراعية عند الأعمال الحقلية له مجموعة تأثيرات غالبيتها إيجابية أهمها:

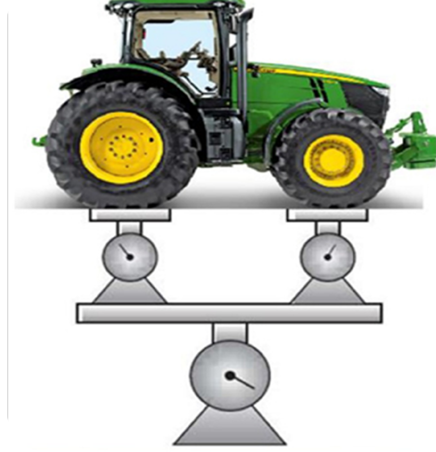
- التقليل من استهلاك الوقود.
- زيادة مساحة التلامس مع الأرض، وتحسين تماسك الإطار مع التربة.
- التقليل من الانزلاق النسبي للإطارات مما يحسن من مردود نقل الحركة.
- التقليل من رص التربة.
- التقليل من انغراس الإطارات في التربة (كل 1 سم انغراس في التربة يزيد 10% من استهلاك الوقود).
- زيادة قوة الجر الممكنة من الاستطاعة المتوفرة نفسها.
  * زيادة مقاومة التدحرج.
  * التقليل من مقدرة الإطار على تحمل الأوزان الشاقولية.

أما العمل على الطرق المعبدة فلا يتطلب قوة جر كبيرة، واستطاعة المحرك يتم استهلاكها بسرعة أمامية أكبر من السرعة الحقلية، لذلك ينصح بزيادة ضغط الهواء في الإطارات الزراعية إلى الحدود العليا المسموح بها؛ ما يسمح بـ:

- التقليل من استهلاك الوقود.
- التقليل من مقاومة التدحرج.
- زيادة مقدرة الآلية على تحمل الأوزان الشاقولية.

2. 2. تدابير حول توازن الجرار:

يقصد بتوازن الجرار التوزيع الأمثل للحمولات على محاوره ليتمكن من تحقيق أفضل قوة جر ممكنة **(الشكل 16)**، إن التوزيع المناسب للحمولات يحسن تحول الاستطاعة الدورانية إلى استطاعة خطية، وبالتالي يقلل الانزلاق النسبي للإطارات في أثناء الحراثة، ويقلل حتى 15 % من الوقود المستهلك.



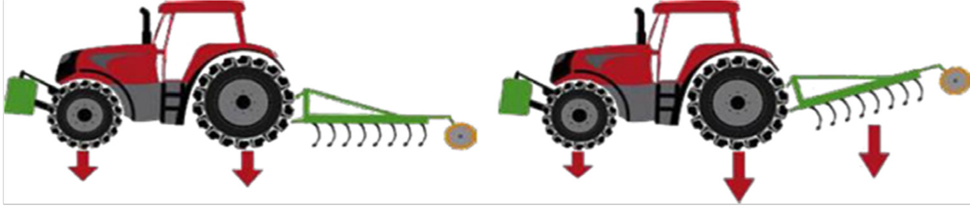
الشكل 16. مفهوم توازن الجرار.

لتوليد قوة الجر يجب توفر الاستطاعة الدورانية الكافية والحمولة الناظمية المناسبة، وتتناسب قوة الجر طرداً مع الحمولات الناظمية للعجلات القائدة، فنقصان الحمولات الناظمية يؤدي إلى زيادة الانزلاق النسبي للإطارات، وبالتالي هدر الاستطاعة، في الوقت نفسه هناك حدود عظمى للحمولات الناظمية يجب عدم تجاوزها، وهذا يتعلق بحجم الإطارات وقيمة ضغط الهواء داخلها، ويجب الانتباه دوماً إلى أن زيادة الحمولات المحورية تؤدي إلى زيادة الرص في التربة الزراعية، ولتجنب حدوث ذلك يجب الانتباه إلى مجموعة العوامل المؤثرة في زيادة سطح استناد الإطارات (نوع الإطارات وضغط الهواء).

أما إذا كان المحور الأمامي للجرار غير قائد فيجب المحافظة على نسبة تحميل عليه لا تقل عن 25 % من الوزن الكلي للمحافظة على مقدرة المحور على التوجيه أثناء الحركة.

تزداد أهمية توازن الجرار في أثناء عمليات الجر الثقيلة، إذ يكون الاستهلاك النوعي للوقود كبيراً نسبياً، والترشيد في هذه الحالة مطلوب بشدة، وفي حال عدم وجود موازنة جيدة قد يحدث اختلاف في انزلاق العجلات، وبالتالي خلل في نظام تحويل الاستطاعة الدورانية إلى خطية، والنتيجة هدر كبير بالوقود، وتآكل مرتفع للإطارات.

يجب الانتباه إلى أن تحميل محاور الجرار في أثناء العمل يختلف عن التحميل في حالة السكون، ولاسيما في أثناء عمليات الحراثة (**الشكل 17**)، إذ تختلف قيمة التأثير حسب نوع المعدات الملحقة وأبعادها.



الشكل 17. أهمية تحميل المحور الأمامي للجرار.

2. 2. 1. نصائح خاصة بتوازن الجرارات:

- يجب أن يكون الجرار خفيفاً قدر الإمكان، وثقيلاً عند الضرورة.
- يتم تزويد الجرارات بأوزان إضافية عند الحاجة إلى قوى جر كبيرة، مما يقلل من الانزلاق، ويزيد من كفاءة نقل الاستطاعة (يجب تجنب السير دون حمل في هذه الحالة).
- تتم إزالة الأوزان الإضافية عند متطلبات العمل الخفيفة والعمل من خلال محور الإدارة، وهذا يقتصد كثيراً في الوقود المستهلك.
- يجب أن تكون الأوزان الإضافية سريعة التركيب والفك.
- يجب ألا تكون آليات القطر ثقيلة دون مبرر.



معلومات عامة:

- كل حصان واحد من استطاعة المحرك يحتاج ما بين 50 و 60 كيلو غرام لتحقيق الجر المطلوب.
- كل زيادة في الوزن مقدارها 1 طن تزيد من استهلاك الوقود نحو 1 ليتر/ساعة.

2. 3. تدابير حول أسلوب القيادة:

يقصد بأسلوب القيادة مجموعة التدابير التي يختارها السائق في أثناء قيادته للجرار، وأهمها نسبة نقل الحركة والتحميل المناسب للمحرك، إذ يقود العديد من المزارعين الجرار وفقاً لضوضاء المحرك، وهذا مقبول فنياً ومرفوض اقتصادياً، لأن سرعة دوران المحرك بهذه الحالة تكون أكبر بنحو 400 دورة / دقيقة من سرعة الدوران الاقتصادية، في حين يمكن لمحرك الجرار أن يعطي الاستطاعة نفسها، ولكن باستهلاك كمية وقود أقل بمجرد قيادة الجرار عند سرعة دوران أقل للمحرك.

من المؤشرات المهمة لعمل أي محرك الاستطاعة، وسرعة الدوران، وعزم الدوران؛ ولكل من هذه المؤشرات قيم اسمية، وعظمى، ولحظية؛ فالقيم الاسمية لهذه المؤشرات هي القيم النظامية «العظمى»، والتي يمكن استثمار المحرك عندها لفترات طويلة، أما القيم العظمى لهذه المؤشرات فهي قيم أكبر من القيم الاسمية، ويمكن أن يعمل المحرك عند أحدها ولكن لفترة محدودة فقط ، لذلك يلاحظ أن المجال الأعلى في عداد سرعة دوران أي محرك يكون مميزاً باللون الأحمر **(الشكل 18)** لأن هذا المجال من سرعة الدوران هو أعلى من سرعة الدوران الاسمية، ولا يجوز العمل عنده إلا لفتره محدودة فقط، ويفضل عدم العمل عنده مطلقاً، لأنه يعرض المحرك لإجهادات كبيرة جداً، هذا بالإضافة إلى أن استهلاك الوقود عند هذه القيم العظمى يكون كبيراً جداً.



الشكل 18. المجال الذي يميز القيم العظمى لمؤشرات عمل المحرك.

من المفيد لفت الانتباه إلى بعض الاختلافات بين محركات الديزل ومحركات البنزين:

* كفاءة محركات الديزل أعلى من كفاءة محرك البنزين لعدة أسباب؛ من أهمها أن نسبة الانضغاط في محركات الديزل يمكن أن تصل حتى 25 ضعفاً بينما في محركات البنزين لا تتجاوز 12 ضعفاً.
* القيمة الحرارية للديزل أعلى من القيمة الحرارية للبنزين.
* وقود الديزل أقل سعراً من وقود البنزين.

* مجال سرعة دوران محرك الديزل (الفرق بين سرعة الدوران دون حمل وسرعة الدوران الأعظمية) أقل من مجال سرعة دوران محرك البنزين؛ هذا علماً أن:

- سرعة الدوران دون حمل لجميع المحركات تبلغ نحو 600 دورة / دقيقة.
- سرعة الدوران الأعظمية لمحركات الديزل نحو 2000 إلى 3500 دورة / دقيقة.
- سرعة الدوران الأعظمية لمحركات البنزين نحو 4000 إلى 8000 دورة / دقيقة.

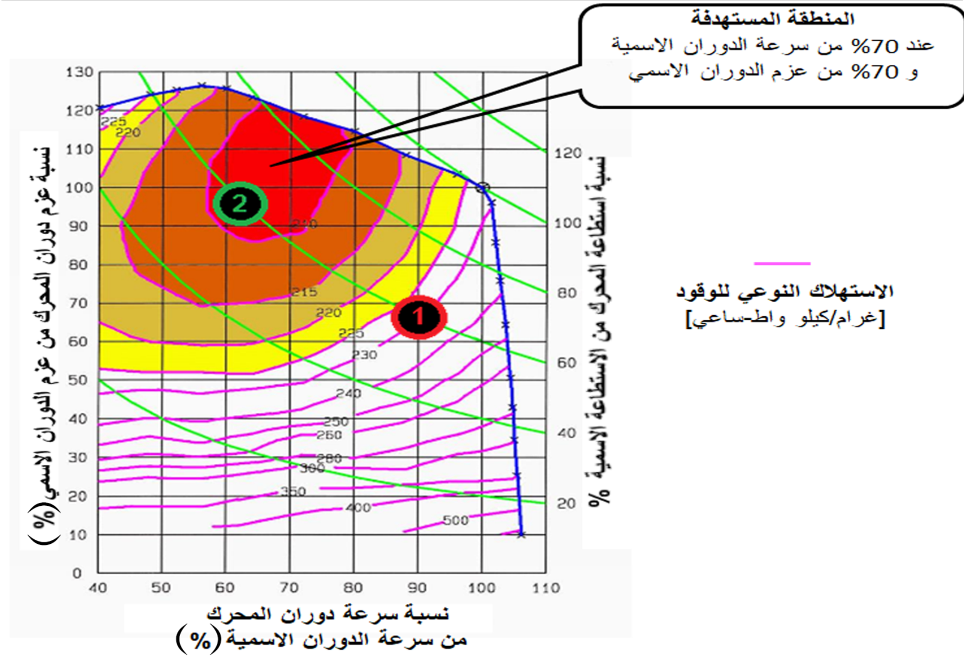
هذا يعني أن الاستفادة من استطاعة محركات البنزين تتم ضمن مجال كبير نسبياً من سرعة الدوران، أما محركات الديزل فيمكن الاستفادة من استطاعتها ضمن مجال محدود من سرعة الدوران، وهذا يعد ميزة كبيرة لمحركات الديزل.

يؤثر أسلوب قيادة أي محرك تأثيراً مباشراً في الاستهلاك النوعي للوقود، ويلاحظ الجميع تأثير أسلوب قيادة السيارات بأنواعها في استهلاك الوقود، ولكن هذا التأثير يكون أكبر وأوضح في قيادة الجرارات الزراعية، ولفهم تأثير أسلوب قيادة المحرك في الاستهلاك النوعي للوقود لابد من شرح المنحنيات المميزة للمحركات.

2. 3. 1. المنحنيات المميزة للمحركات:

تكمن أهمية المنحنيات المميزة لعمل أي محرك في أنها تعرض مؤشرات عمل المحرك في جميع الظروف المحتملة، وبالتالي يمكن من خلالها تحديد المؤشرات التي يكون عندها الاستهلاك النوعي للوقود في الحدود الدنيا. ويلاحظ من المخطط المبين (**الشكل 19**) أن المساحة المظللة بالأحمر يكون فيها الاستهلاك النوعي للوقود أقل ما يمكن، وبالتالي يجب اختيار نقطة تشغيل المحرك (سرعة الدوران ، وعزم الدوران) إما داخل هذه المنطقة المظللة، أو أقرب ما يكون إليها.

يلاحظ أن النقطة **1** الحمراء في المنحنيات المميزة لعمل المحرك تشير إلى تحميل المحرك بنسبة 60 % من الاستطاعة الاسمية (90 % من سرعة الدوران الاسمية، و 67 % من عزم الدوران الاسمي = الاستهلاك النوعي 230 غرام / كيلو واط ساعي). في الوقت نفسه يمكن للسائق أن يختار النقطة **2** الخضراء، وهي حالة تحميل للمحرك بالاستطاعة نفسها أي 60 % من الاستطاعة الاسمية، ولكن عند سرعة دوران أقل وعزم دوران أكبر (سرعة دوران أقل هي 64 % من سرعة الدوران الاسمية، وعزم دوران أكبر هو 93 % من عزم الدوران الاسمي = استهلاك نوعي أقل من 210 غرام/كيلو واط ساعي)، عندها يكون قد تحقق وفر باستهلاك الوقود نحو 10 % (230 ← 210).

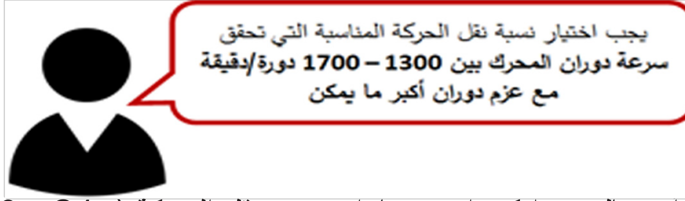


الشكل19. المنحنيات المميزة للمحرك.

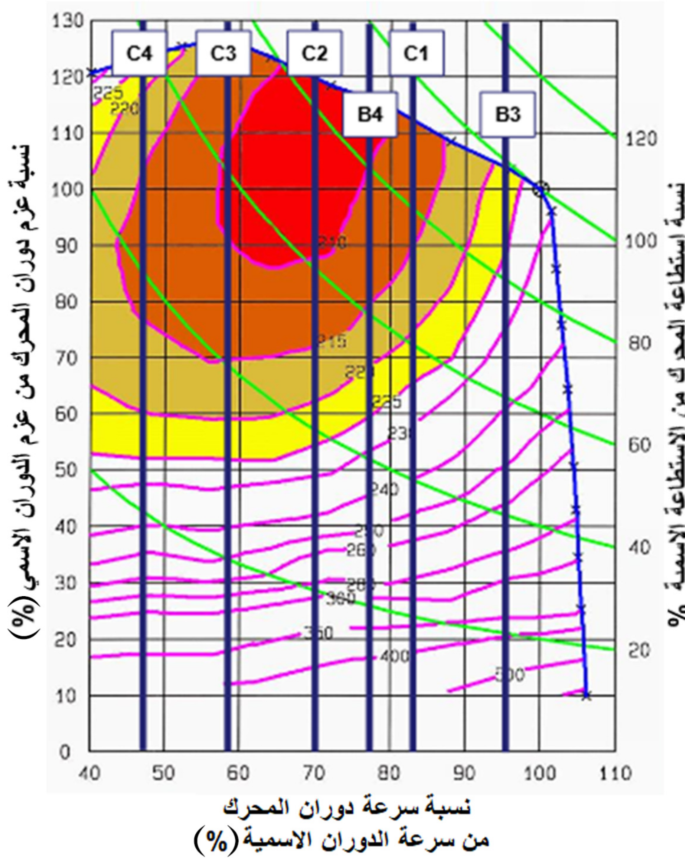
2. 3. 2. اختيار نسبة نقل الحركة:

لتشغيل المحرك في النطاق الأكثر كفاءة في استهلاك الوقود يجب أن تسمح علبة السرعة بالتنسيق بين عزم دوران المحرك وسرعة دورانه، والسرعة الأمامية للجرار، وهذا يتطلب زيادة عدد خيارات نسب نقل الحركة، وتتيح علب السرعة الأوتوماتيكية التنقل بين نسب نقل الحركة دون الحاجة إلى توقف الجرار، وهذا مفيد جداً في الأراضي المنحدرة وغير المستوية. يفضل في علب السرعة العادية ، ومن أجل تفادي الحاجة إلى تغيير نسب نقل الحركة في أثناء العمل اعتماد نسبة نقل منخفضة منذ الانطلاق، مما يسمح بالقيادة دون تغيير. في هذه الحالة لا يتم هدر جزء من طاقة الجرار دون مبرر في المناطق السهلة خاصة.

يجب حسن اختيار نسبة نقل الحركة لعلبة السرعة بحيث تكون السرعة النهائية ضمن المجال الاقتصادي المطلوب (نحو 70 % من سرعة الدوران الاسمية) أو بين 1300 و 1700 دورة/ دقيقة.



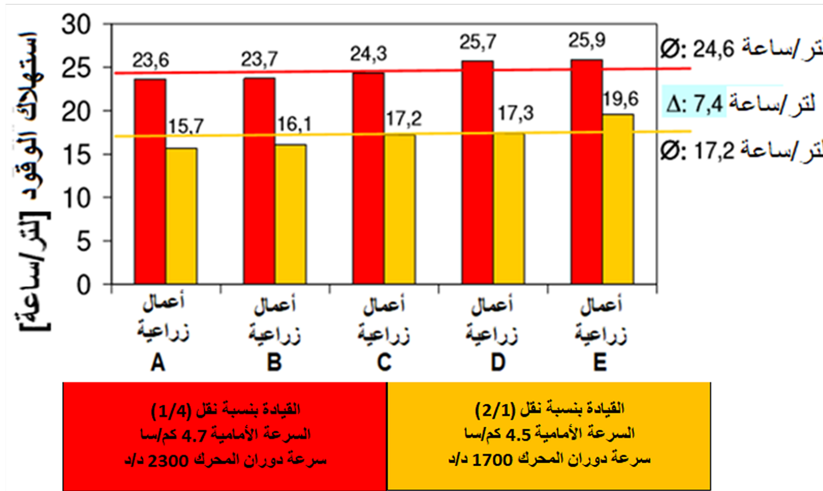
يبين **الشكل 20** ان هناك عددا كبيرا من خيارات نسب نقل الحركة (، C4 ، C3 ، C2، C1 B3 ، B4) وجميعها تحقق السرعة الأمامية نفسها(6 كيلو متر/ ساعة)، إلا أن استهلاك الوقود في كل حالة مختلف تماماً؛ وأنسب نسبة نقل حركة هي C2، إذ تمكن من قيادة الجرار بالسرعة الأمامية المطلوبة عند سرعة دوران للمحرك نسبتها 70 % من سرعة دورانه الاسمية.



الشكل 20. نسب نقل حركة مختلفة تحقق السرعة الأمامية نفسها للجرار.

يعد دخان الجرار مؤشراً ليس للحالة الفنية للمحرك، وإنما مؤشر مهم لاستهلاك الوقود، إذا كان غاز العادم ملوناً باللون الأسود فهذا يشير إلى استهلاك مرتفع بسبب الاحتراق غير الكامل للوقود. ويبين **الشكل 21** متوسط استهلاك الوقود في الساعة في أثناء حراثة التربة بطريقتين (نسب نقل حركة مختلفة) خلال خمسة أعمال زراعية مختلفة.

ويلاحظ من **الشكل 21** أيضاً أن السرعة الأمامية بالحالتين متقاربة (4.5 و 4.7 كيلو متر/ ساعة)، والاختلاف بسرعة دوران المحرك فقط، والنتيجة هي اختلاف في نسبة استهلاك الوقـود بلغ نحو 30 %، وذلك لأن الاختيار الصحيح لنسبة نقل الحركة أدى إلى قيادة المحرك بالقيم المثالية من عزم الدوران وسرعته.



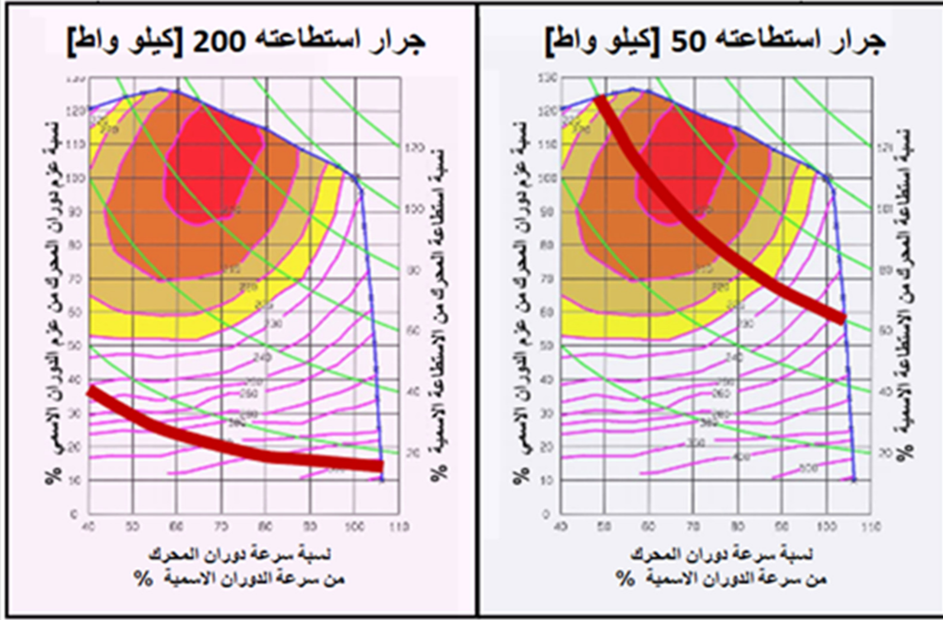
الشكل 21. تأثير اختيار نسبة النقل المناسبة في استهلاك الوقود.

2. 3. 3. اختيار نسبة تحميل المحرك:

يقصد بنسبة تحميل المحرك النسبة بين الاستطاعة المستجرة فعلياً من محرك الجرار واستطاعته الاسمية؛ فبفرض أن الاستطاعة اللازمة لإنجاز العمليات الزراعية المطلوبة هي 30 كيلو واط **(الشكل 22)**، واختيرجرار استطاعته الاسمية 50 كيلو واط لإنجاز هذا العمل، فهذا يعني أن نسبة تحميل محركه ستكون 60 %، أما إذا اختير جرار استطاعته الاسمية 200 كيلو واط لإنجاز هذا العمل فإن نسبة تحميل محركه ستكون 15 % فقط، وهذا سيؤدي إلى هدر كبير باستهلاك الوقود.

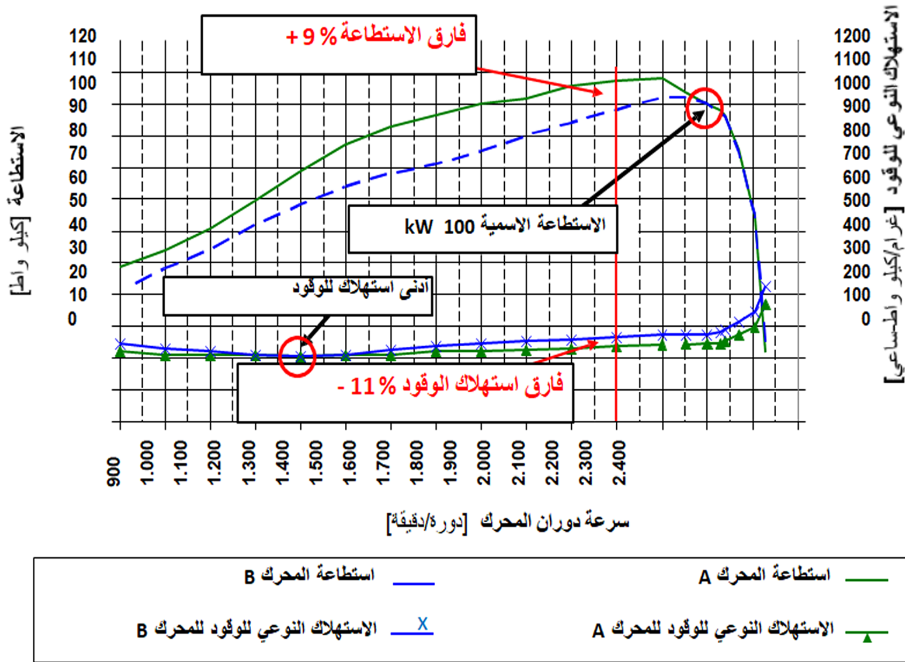
يبين **الشكل 22** المنحنيات المميزة لمحركي كلا الجرارين، ويلاحظ أن مسار منحني نسبة استطاعة المحرك من الاستطاعة الاسمية (باللون الأحمر العريض) في كلا الحالتين.

يجب أن تكون نسبة تحميل المحرك الاقتصادية نحو 60 % إلى 80 %، مع لحظ السرعة الاقتصادية لدوران المحرك التي تقدر بحوالي 1300 إلى 1700 دورة/ دقيقة.



الشكل 22. نسبة تحميل المحرك، وتأثيرها في الاستهلاك النوعي للوقود.

تمثل المخططات البيانية (**الشكل 23**) المنحنيات المميزة لمحركين A وB متقاربين بقيم الاستطاعة الاسمية والحد الأدنى للاستهلاك النوعي للوقود؛ ومع ذلك فإن المحرك A هو الأفضل ولديه طاقة أكبر بنسبة 9 %، واستهلاكه النوعي للوقود أقل بنسبة 11% من المحرك Bعند عملهما عند سرعة الدوران الاسمية. إضافة إلى ذلك فإن المحرك A قادر على تقديم استطاعته الأعظمية عند مجال كبير من سرعة دوران المحرك (1700 إلى 2100 دورة/ دقيقة)، بينما المحرك B غير قادر على تقديم استطاعته الأعظمية إلا عند مجال محدود جداً لسرعة دوران المحرك (2100 إلى 2200 دورة / دقيقة).



الشكل 23. مقارنة المنحنيات المميزة لمحركين مختلفين (A وB).

نستنتج من ذلك أن تحديد الاستطاعة الإسمية والحد الأدنى للاستهلاك النوعي للوقود فقط لا يكفي لتقييم أداء المحرك؛ لذلك يفضل الحصول على المنحنيات المميزة للمحرك، لأنها تتضمن تفاصيل مهمة جداً، ويجب دراستها بعناية.



2. 3. 4. المحركات ذات مجال الاستطاعة الثابتة:

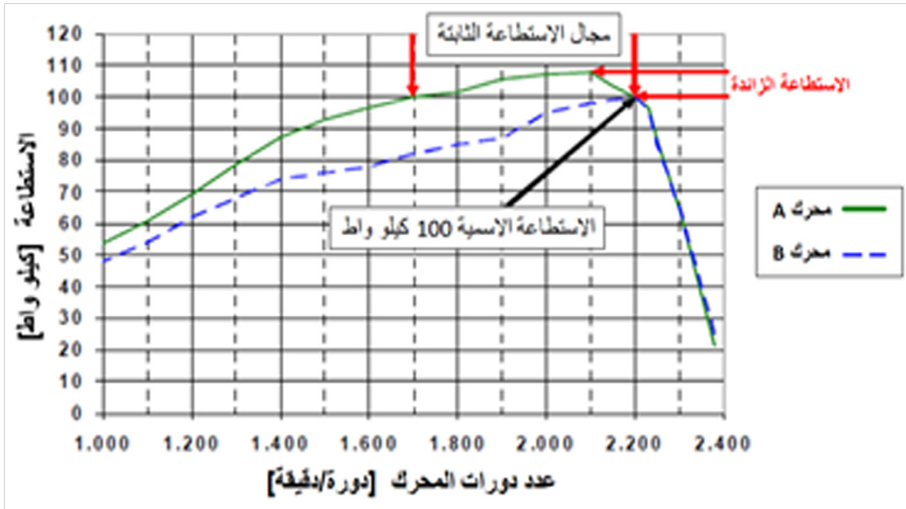
تتميز بعض المحركات الحديثة، بأنها قادرة على أن تعطي استطاعتها الاسمية (أو يزيد) عند مجال كبير نسبياً من سرعة دوران المحرك، بعكس معظم المحركات القديمة التي ليس بإمكانها تقديم

الاستطاعة الإسمية إلا عند السرعة الإسمية فقط ، وبمجرد انخفضت السرعة تنخفض الاستطاعة أيضاً.

ويبين **الشكل 24** مقارنة بين نوعين من المحركات:

- المحرك B يعطي استطاعته الاسمية عند سرعة الدوران الاسمية فقط.
- المحرك A قادر على أن يعطي الاستطاعة الاسمية وأكثر عند مجال لسرعة دوران المحرك يقدر بنحو 20 % من المجال الكلي لسرعة دوران المحرك.

وهذا يساعد السائق على تنفيذ العمليات الزراعية عند سرعة دوران أقل للمحرك، أي أنه يقلل من استهلاك الوقود.



الشكل 24. مجال الاستطاعة الثابتة في المنحنيات المميزة للمحرك.

2. 3. 5. مدوسة الوقود اليدوية:

إن تقلبات السرعة الأمامية في أثناء الأعمال الحقلية يزيد وبشكل ملحوظ استهلاك الوقود، لذلك توجب تثبيت السرعة الأمامية قدر الإمكان، ويمكن أن يتم ذلك باستخدام مدوسة الوقود اليدوية التي تعمل على تثبيت سرعة دوران المحرك، وبالتالي تثبيت السرعة الأمامية أيضاً، وبذلك يتم تجنب تقلبات السرعة التي تزيد من استهلاك الوقود، وتكون مدوسة الوقود اليدوية في الجرارات الحديثة على شكل كبسة يضغط عليها، وتسمى مثبت السرعة.

2. 4. تدابير حول الصيانة:

الصيانة هي الأعمال الوقائية الدورية التي توصي بها الشركات الصانعة وفق برنامج معين بهدف العناية بالآلية وإطالة مدة صلاحيتها للاستعمال، أما الإصلاح فهو معالجة تلف أحد الأجزاء سواء نتيجة استهلاك طبيعية أم غير طبيعية، وتتضمن الصيانة تبديل بعض القطع بعد استخدامها لفترة محددة قبل أن تتلف بشكل مفاجئ.

يهمل كثير من المزارعين الصيانة، ولا يدركون أهميتها سواء أكان بالنسبة إلى الترشيد في استهلاك الوقود أم إلى تقليل الأعطال، وتضمن الصيانة الجيدة أفضل كفاءة تحويل للطاقة، في حين تؤدي الصيانة غير الجيدة إلى هدر بالوقود وحدوث أعطال متكررة.

2. 4. 1. صيانة الجرارات الزراعية:

يوجد 6 مستويات للصيانة، كل منها يشمل ماقبله:

* صيانة بعد كل 10 ساعات تشغيل أي الصيانة اليومية (إجراءات عامة).
* صيانة بعد كل 60 ساعة تشغيل (إجراءات عامة).
* صيانة بعد كل 120 ساعة تشغيل (إجراءات حسب كتيب التشغيل).
* صيانة بعد كل 240 ساعة تشغيل (إجراءات حسب كتيب التشغيل).
* صيانة بعد كل 480 ساعة تشغيل (إجراءات حسب كتيب التشغيل).
* صيانة بعد كل 1000 ساعة تشغيل (إجراءات حسب كتيب التشغيل).

ويتم تنظيم الصيانات بشكل دوري:

- إما حسب المسافة المقطوعة (في السيارات فقط).
- أو حسب عدد ساعات التشغيل، كما هو الحال بالنسبة إلى الجرارات والمحركات الثابتة.
- أو حسب استهلاك الوقود (نادر الاستخدام).

وتنقسم أعمال الصيانة إلى مجموعتين:

* مجموعة أعمال يقوم بها السائق.
* مجموعة أعمال أخرى تتم في ورشات خاصة.

2. 4. 1. 1. أعمال الصيانة التي على السائق تنفيذها بشكل دوري:

* الكشف على مستوى السوائل في الآلية:
  - مياه تبريد المحرك.
  - زيت تزييت المحرك.
  - زيت الهيدروليك.
  - زيت المكابح.
  - زيت علبة السرعة.
  - زيت الجهاز التفاضلي.
  - الوقود.
* التأكد من شد سير المروحة، والتأكد من سلامته.
* التأكد من ضغط الهواء بالإطارات وحالتها الخارجية.
* الكشف الأولي على جميع التجهيزات الكهربائية.
* الكشف على فلتر الهواء، وتنظيفه، والتأكد من سلامته.
* الكشف على جميع معدات الربط، والتأكد من سلامتها.



2. 4. 1. 2.أعمال الصيانة التي تنفذ في ورشات الصيانة والإصلاح:

* تبديل الزيوت المختلفة:
  - زيت تزييت المحرك.
  - زيت الهيدروليك.

- زيت المكابح.
- زيت علبة السرعة.
- زيت الجهاز التفاضلي.
- السائل الحمضي البطارية.

* تبديل البطانات الاحتكاكية للفرامل.
* تبديل أجزاء من القابض الاحتكاكي (الفاصل واصل).

يجب أن يكون لكل آلية سجل خاص بالصيانة والأعطال بحيث يسجل فيه:

- الأعطال والإصلاحات كافة.
- الصيانات والإجراءات المنفذة في كل صيانة.

2. 4. 1. 3.إجراءات الصيانة اليومية (بعد 10 ساعات تشغيل):

وهي تشمل ثلاث مجموعات من الإجراءات البسيطة:

* **إجراءات الصيانة قبل البدء بالعمل اليومي:**

- عدم تشغيل المحرك في مكان مغلق حتى لا يتم تنفس غازات العادم السامة.
- الكشف على مستوى الوقود في الخزان.
- التأكد من تثبيت البطارية في مكانها.
- الكشف على زيت المحرك.
- الكشف على مستوى الماء فىالرادياتير.
- الكشف على ضغط الهواء في الإطارات.
- التأكد من عدم وجود تسرب لأي سائل (وقود، زيوت ، ماء) من الآلية.
- التأكد من وجود طفاية الحريق في مكانها بالجرار.
- تشغيل المحرك بضع دقائق قبل التحرك، وكذلك جهاز الهيدروليك برفعه لأعلى ولأسفل

* **إجراءات الصيانة أثناء العمل في الحقل:**

وهي عبارة عن مجموعة تحذيرات:

- الحذر من السرعة العالية لأن الجرار غير مخصص لذلك، وزيادة سرعة الجرار تؤدي إلى الإهتلاك السريع.
- الحذر من فتح غطاء الراديتر والمحرك ساخن

- الحذر من إضافة الماء البارد إلى الراديتر والمحرك متوقف عن الدوران.
- الحذر عند القيادة على المنحدرات وعند الدوران.
- الحذر من الضغط فجأة على الفرامل المفردة أو المزدوجة، لأن ذلك يضر بالجهاز التفاضلي.

* **إجراءات الصيانة بعد الانتهاء من العمل اليومي:**

- تنظيف الجرار بالكامل من الأتربة.
- غسيل الراديتر من الخارج برشه بالماء.
- بعد انتهاء العمل وإيقاف الجرار يترك المحرك يعمل على سرعة بطيئة بضع دقائق ليبرد المحرك قليلاً.
- ملء خزان الوقود.



2. 4. 1. 4.إجراءات الصيانة بعد 60 ساعة عمل:

- التأكد من شد وسلامة سير المروحة.
- التأكد من سوية ماء خلايا البطارية وفتحات التهوية للأغطية.
- الكشف على فلتر الهواء وتنظيفه.
- تشحيم الأجزاء المتحركة (يجب تنظيف المكان أولاً).
- التأكد من عدم وجود فراغ في حركة العجلات الأمامية والخلفية.
- التأكد من ضغط الهواء في الإطارات (يجب أن يكون ضغط هواء الإطارات في فصل الشتاء أعلى بنسبة 5 %عما هو في الصيف).

2. 4. 1. 5. إجراءات الصيانة بعد 120 ساعة عمل:

بالإضافة إلى أعمال الصيانة كل 60 ساعة عمل يتم إجراء ما يلي:

* الكشف على مستوى الزيت في علبة السرعة والجهاز التفاضلي، وزيادته إذا لزم الأمر.
* تغيير زيت المحرك، ويجب تقصير الفترة عند العمل في جو مليء بالأتربة.
* تشحيم المقلع الكهربائي والدينامو ومدارج الفاصل واصل بالقدر اللازم.

2. 4. 1. 6. إجراءات الصيانة بعد 240 ساعة عمل:

بالإضافة إلى أعمال الصيانة كل 60 و 120 ساعة عمل يتم إجراء ما يلي:

- تنظيف فلاتر الزيت والوقود.
- غسيل حوض المحرك (الكارتير) وملؤه بالزيت المناسب مجدداً.

2. 4. 1. 7. إجراءات الصيانة بعد 480 ساعة عمل:

بالإضافة إلى أعمال الصيانة كل 60 و 120و 240 ساعة عمل يتم إجراء الآتي:

- تغيير زيت التجهيزات الثانوية للمحرك.
- الكشف على مستوى زيت علبة المقود .

2. 4. 2. صيانة المعدات الزراعية:

يختلف مفهوم الصيانة للمعدات الزراعية عنه في الجرارات الزراعية، إذ يتداخل مفهوم الصيانة مع مفهوم الإصلاح. من أهم الأساسيات في صيانة المعدات الزراعية:

- تنظيف وتشحيم المعدات الزراعية في نهاية كل يوم عمل (يفيد هنا استخدام الهواء المضغوط أكثر من استخدام الماء)، بحيث تكون جاهزة للعمل في اليوم التالي، وهذه الفكرة الأساسية تسهم ليس بترشيد استهلاك الوقود فحسب، وإنما بتنظيم العمل والاستفادة من الوقت بشكل أمثل ومنع حدوث صعوبات أو أعطال في اليوم التالي، فمثلاً ترك المحراث دون تنظيف **(الشكل 25)** يؤدي إلى تصلب الطبقة الطينية الملتصقة بأجزائه الرئيسة، والتي بدورها تشكل عائقاً كبيراً لاختراق السلاح للتربة، مما يؤثر سلباً في كفاءة العمل ونوعيته أيضاً.

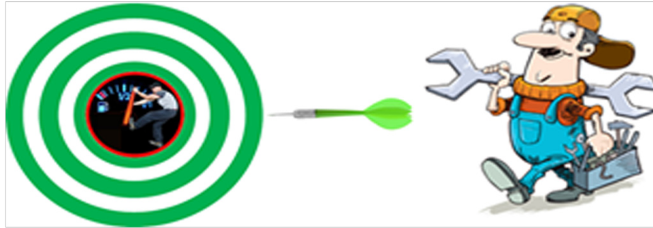


الشكل 25. أبدان محاريث مهملة دون صيانة.

- يتم غالباً إصلاح معدات التربة بطريقة اللحام ويترك ذلك بروزات ظاهرة تقع على تماس مع التربة، مما يزيد من مقاومة التربة للاختراق، وبالتالي زيادة الطاقة اللازمة للتشغيل وزيادة استهلاك الوقود.

كما يؤدي الصدأ على أدوات العمل إلى زيادة مقاومة التربة، لذلك ينبغي اتخاذ إجراءات حماية من الصدأ بعد كل استخدام.

- تسهم حدة حواف أدوات القطع بفعالية عملية القطع، وبالتالي كفاءة استهلاك الوقود، ويقدر الفرق باستهلاك الوقود بين الأدوات الحادة وغير الحادة لمحشّة عرضها 3 أمتار بنحو 1 ليتر/ ساعة، لذلك يجب الحفاظ على أدوات القطع حادة بشكل دائم.



الشكل 26. الهدف غير المباشر من الصيانة هو ترشيد استهلاك الوقود.

2. 5. تدابير تنظيمية:

لا يحدث ترشيد استهلاك الوقود بشكل تلقائي ومباشر، وإنما يجب التخطيط له مسبقاً، وهناك العديد من الأمور التي يجب أخذها بعين الاعتبار بشكل مسبق، والتي لا يمكن تحقيقها إلا من خلال الإدارة والتنظيم الجيد، وفيما يلي أهم التدابير الإدارية والتنظيمية الخاصة بترشيد استهلاك الوقود في العمليات الزراعية.

2. 5. 1.اختيار الجرار المناسب:

إن من أهم المؤشرات الفنية للجرار هي الاستطاعة والوزن، والتناسب بينهما طردي، ويتراوح الوزن النوعي لواحدة استطاعة الجرار بين 50 و100 كيلو غرام/حصان. وتكون كفاءة عمل الجرارات ذات الوزن النوعي الأكبر لواحدة الاستطاعة هي الأفضل بشكل عام، إلا أن استهلاكها النوعي للوقود يكون كبيراً نسبياً.

يتم تحديد أنواع الجرارات اللازمة (ومواصفاتها الفنية) لأي مزرعة تبعاً لنوعية العمل في هذه المزرعة ونوعية إنتاجها. إن تأمين جميع الآلات والمعدات اللازمة يتطلب رأس مال كبير، لذلك يرغب معظم المزارعين في اقتناء جرار واحد متعدد المهام (لأعمال تحضير التربة والقطر والنقل)، والأنسب هي الجرارات الأخف وزناً، ولكن ذات الاستطاعة الأكبر نسبياً التي يمكن تحميلها أوزاناً إضافية عند تنفيذ الأعمال التي تتطلب قوة جر كبيرة لرفع كفاءتها.



2. 5. 2. تناسب الجرار مع ملحقاته الزراعية:

يجب أن يكون الجرار والمعدات الزراعية متناسبين من حيث الأبعاد والاستطاعة، وكل آلية زراعية لها استطاعة تشغيل، يؤثر فيها كل من عرض العمل وعمق العمل، والسرعة الأمامية. ويفضل أن تكون الاستطاعة العظمى لتشغيل المعدة الزراعية نحو 80 % من الاستطاعة الاسمية

للجرار. إذا لم يكن الجرار الموجود بالمزرعة مناسباً للمعدة الزراعية (أو العكس)، فإن استئجار جرار مناسب (أو معدة مناسبة) تكون أفضل من إنجاز العملية الزراعية دون تناسب بينهما.

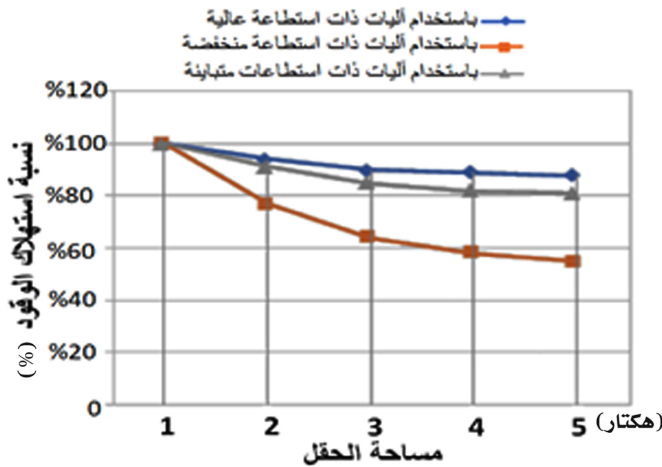
2. 5. 3. دمج العمليات الزراعية:

يمكن تحقيق وفر كبير بالوقود من خلال الجمع بين العمليات الزراعية؛ فبدلاً من التحضير السطحي للتربة ثم بذرها لاحقاً يمكن تحضير التربة بشكل سطحي وبذرها بشوط واحد، وهذا يوفر ما لا يقل عن 40 % من الوقود، بالإضافة إلى زيادة الإنتاجية، وتقليل الرص في التربة، وإنجاز الأعمال ضمن الفترة التكنولوجية المتاحة.

2. 5. 4. الأبعاد والمساحات:

2. 5. 4. 1. تأثير شوط العمل:

كلما ازداد طول شوط العمل (مساحة الحقل)، قل عدد مرات التوقف للدوران الميت، وبالتالي قل الاستهلاك النوعي للوقود، لذلك ينصح بزيادة مساحة الحقول عن طريق دمج الأراضي، أو استئجار المناطق المجاورة. ويوضح **الشكل 27** مثالاً حول نسبة خفض استهلاك الوقود عند زيادة المساحة، ويكون الاختلاف بقيمة خفض استهلاك الوقود أوضح كلما ازدادت المساحة، كما يبين أن استخدام الآليات ذات الاستطاعة المنخفضة نسبياً أفضل من استخدام الآليات ذات الاستطاعة العالية فيما يخص استهلاك الوقود.



الشكل 27. تأثير مساحة الحقل واستطاعة الآلية في نسبة استهلاك الوقود.

2. 5. 4. 2. تأثير الشكل الهندسي للأرض الزراعية:

كلما كانت الأشواط أطول وأكثر انتظاماً قل زمن الدوران، وبالتالي يقل العمل الميت للجرار، وبالنتيجة يقل الاستهلاك النوعي للوقود؛ استناداً لهذا المبدأ العام يعد الشكل المستطيل هو الأفضل بالنسبة إلى الاستهلاك النوعي للوقود، يليه الشكل المربع، ثم الشكل المثلث متساوي الأضلاع، ثم المثلث مختلف الأضلاع.

2. 5. 4. 3. تأثير تباعد المساحات المزروعة:

كلما ازدادت المسافة بين الحقول ازداد الاستهلاك النوعي للوقود، لذلك يجب توزيع المساحات المزروعة بشكل متقارب، وهذا لا يفيد بخفض استهلاك الوقود فحسب، وإنما في إنجاز العديد من الخدمات الأخرى.

2. 5. 5. الاختيار الصحيح لتوقيت العمل:

لا يؤثر الاختيار الصحيح لتوقيت تنفيذ العديد من العمليات الزراعة في الاستهلاك النوعي للوقود فحسب، وإنما في جودة العملية الزراعية أيضاً؛ فحراثة التربة شديدة الرطوبة وشديدة الجفاف تزيد من الاستهلاك النوعي للوقود، لأن مقاومة التربة للاختراق تكون كبيرة جداً، علماً أن أفضل رطوبة لحراثة التربة تتراوح بين 14 و 17 % إذ تكون المقاومة النوعية للاختراق أقل ما يمكن، كذلك الأمر فإن اختيار التوقيت المناسب لحصاد الحبوب يؤثر في كفاءة عملية الجني، والاستهلاك النوعي للوقود في آن واحد.

2. 5. 6. نظام الزراعة (الزراعة الحافظة):

الزراعة الحافظة هي نظام زراعي متكامل تنفذ به العمليات الزراعية من خلال رؤية خاصة تهدف إلى المحافظة على الموارد الطبيعية، وهو ليس بديلاً لنظام الزراعة التقليدية، وإنما هو نظام يهدف إلى ترشيد استخدام الموارد وتحقيق الاستدامة البيئية، وفي الوقت نفسه يزيد كمية الإنتاج الزراعي. وهو يناسب المناطق محدودة الموارد، ولاسيما المائية. إن تكاليف الإنتاج في الزراعة الحافظة تكون أقل من تكاليف إنتاج الزراعة التقليدية، وفي الوقت نفسه تحقق غلة زراعية أكبر. وأهم الركائز الأساسية للزراعة الحافظة هي:

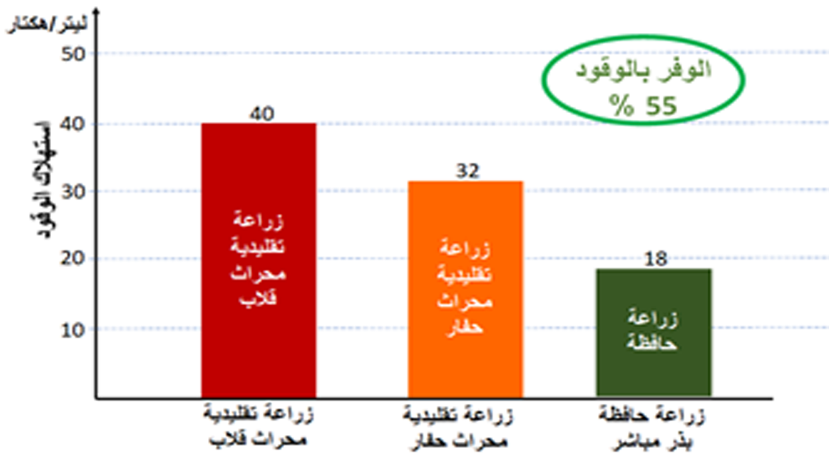
* عدم إثارة التربة إلا في الحدود الدنيا.
* المحافظة على تغطية التربة بطبقة من بقايا النباتات.
* تطبيق الدورة الزراعية وتناوب المحاصيل.

يجب تطبيق الركائز الثلاث مجتمعة وليس بشكل منفرد، وأكثر ما يميز الزراعة الحافظة اختصار أعداد وأنواع الآلات الزراعية المستخدمة والتركيز على آلة البذر المباشر **(الشكل 28)**، وهي آلة محمولة خلف الجرار، مهمتها تسطير (توزيع) بذار الحبوب (بأنواعها) مع تسطير السماد المعدني (حبيبات أو مسحوق) ضمن أخاديد في باطن التربة على عمق مناسب بحيث يتم وضع سطر البذار وسطر السماد بالأخدود نفسه ويكون توضع سطر السماد أسفل سطر البذار بمسافة لا تقل عن 1 سم، ومن ثم تغطية البذار والسماد بطبقة مناسبة من التربة، والعمل على تكثيفها.



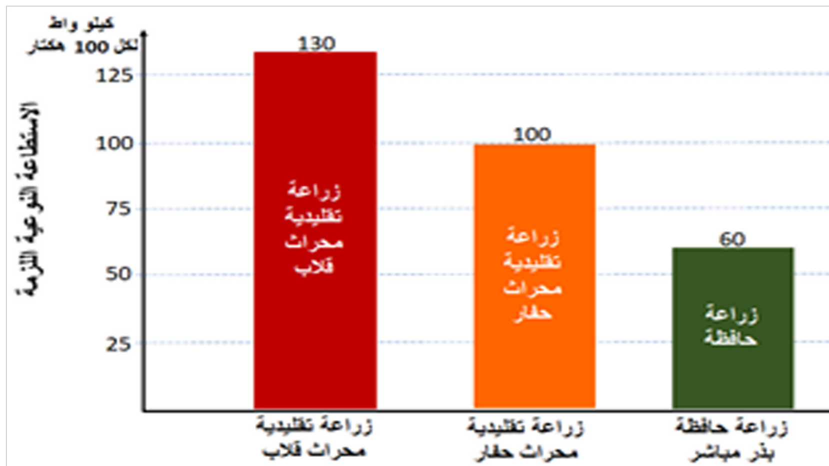
الشكل 28. آلة الزراعة الحافظة (آلة البذر المباشر).

إن تكاليف الزراعة الحافظة أقل لأنها تستغني عن عمليات تحضير التربة التي بدورها تستهلك كميات كبيرة من الوقود، ويوضح **الشكل 29** التالي مقارنة استهلاك الوقود بين ثلاثة أنظمة زراعية، يلاحظ أن نظام الزراعة الحافظة يحقق وفراً بنحو 55 % من الوقود المستهلك مقارنةً بنظام الزراعة التقليدية.



الشكل 29. مقارنة استهلاك الوقود بين ثلاثة أنظمة زراعية.

بالإضافة إلى المحافظة على الموارد الطبيعية تفيد الزراعة الحافظة في تقليل أعداد وأنواع المعدات الزراعية الواجب اقتناؤها، ويلاحظ من **الشكل 30** أن الاستطاعة النوعية اللازمة لتنفيذ العمليات الزراعية في نظام الزراعة الحافظة أقل من نصف الاستطاعة النوعية اللازمة لتنفيذ العمليات الزراعية في نظام الزرعة التقليدية،



الشكل 30. الاستطاعة النوعية اللازمة لتنفيذ العمليات الزراعية في ثلاثة أنظمة زراعية.

3. التدابير الخاصة لترشيد استهلاك الوقود في العمليات الزراعية:

3. 1. تدابير ترشيد استهلاك الوقود في عمليات تحضير التربة:

تستهلك عمليات تحضير التربة نحو نصف كمية الديزل اللازم لكامل الموسم الزراعي، لذلك تعد تدابير توفير الوقود في عمليات تحضير التربة من أهم التدابير في هذا المجال، ويعتمد استهلاك الديزل في عمليات تحضير التربة على عمق العمل بالدرجة الأولى، **وكقاعدة عامة تقدر كمية الديزل المكافئة لكل واحد سنتيمتر من عمق الحراثة نحو 0.8 ليتر/هكتار**، وبالتالي فإن تقليل عمق الحراثة من 35 إلى 25 سم يوفر نحو 8 ليتر/هكتار.

ومن أهم التدابير العامة لترشيد استهلاك الوقود في عمليات تحضير التربة:

* عدم استعمال المحراث النقاب إلاعند الضرورة القصوى فقط.
* عند استخدام المحراث الحفار (الكولتيفاتور) ينصح باستخدام الأسلحة السهمية، فهي أفضل من الأسلحة العريضة، لأن تأثيرها يصل إلى عمق أكبر، هذا بالإضافة إلى أنها تستهلك وقوداً أقل.
* ضرورة ربط المحراث مع الجرار بشكل مثالي.

3. 1. 1. الربط الصحيح للمحاريث مع الجرار:

بالرغم من أن جميع المحاريث تكون مربوطة خلف الجرار إلا أن اختلاف بعض التفاصيل الدقيقة في أثناء الربط قد يتسبب باضطرابات في أثناء الحراثة، نذكر منها:

- عدم تمكن مجموعة الحراثة من السير بشكل مستقيم، وبالتالي يضطر السائق للتدخل المستمر لتعديل التوجيه، فينتج عن ذلك خط حراثة غير مستقيم.
- تباين عمق الحراثة.
- زيادة الانزلاق النسبي للإطارات.
- زيادة كبيرة وملحوظة باستهلاك الوقود.

أي أن الخطأ بربط المحراث مع الجرار لا يؤثر سلباً في استهلاك الوقود فحسب، وإنما في جودة الحراثة أيضاً.

من الممكن تجنب حدوث الاضطرابات السابقة من خلال الربط الصحيح للمحراث مع الجرار، وهذا يمكن أن يحقق وفراً يصل إلى 30 % من قوة الجر (وبالتالي من استهلاك الوقود) مقارنة

بمحراث سيئ الربط.

يوجد ثلاث طرائق لربط المحاريث مع الجرار، تختلف باختلاف حجم المحراث، وهي:

- **المحاريث المقطورة:** ويتم ربطها على نقطة واحدة من عمود الجر، ويؤثر في هذه النقطة قوة أفقية فقط، لذلك تكون المحاريث المقطورة كبيرة الحجم (أكبر من 8 أبدان) ومتوازنة ذاتياً (لها ثلاث عجلات بمثابة ثلاث نقاط استناد).

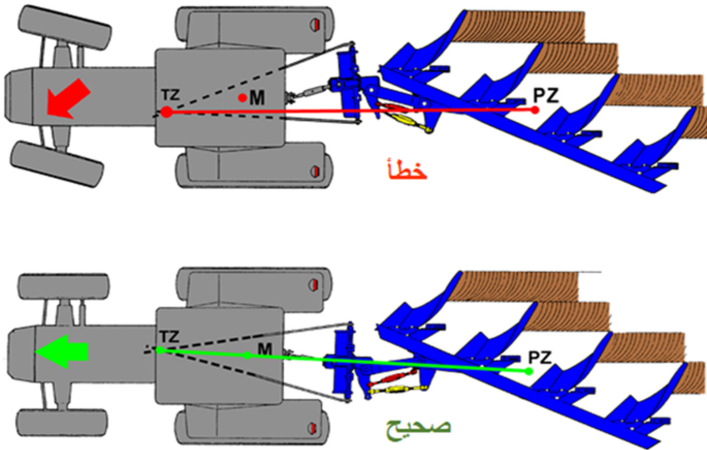
- **المحاريث نصف المقطورة:** يتم ربطها أيضاً على نقطة واحدة من الجرار، ولكن يؤثر في هذه النقطة قوتان، قوة أفقية وأخرى شاقولية، هي بمثابة نقطة الاستناد الثالثة، لذلك تكون المحاريث المقطورة متوسطة الحجم (4 إلى 8 أبدان)، وتوازنها قلق (لها عجلتان بمثابة نقطتي استناد، ونقطة الاستناد الثالثة هي نقطة الربط نفسها).

- **المحاريث المحمولة:** يتم ربطها على مشبك الربط الثلاثي للجرار، وتصبح جزءاً من الجرار، واستقرارها من استقراره، لذلك تكون صغيرة الحجم (أقل من 4 أبدان).

ولتوضيح مفهوم الربط الصحيح للمحاريث مع الجرار نورد التعاريف التالية:

* **مركز الجر TZ:** هو نقطه اعتبارية (وهمية) تتمثل بنقطة تلاقي الساعدين السفليين لمشبك الربط الثلاثي **(الشكل 31)**.

* **مركز مقاومة الجر PZ:** هو نقطة اعتبارية (وهمية) تتمثل بمركز ثقل البدن الأوسط من المحراث **(الشكل 31)**.



الشكل 31. الربط الصحيح الخاص بمركزي الجر (Tz) ومقاومة الجر (PZ).

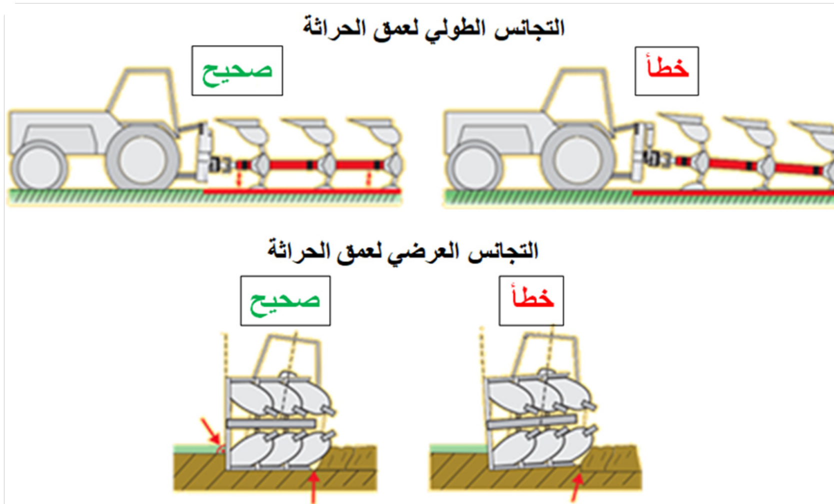
ويتطلب الربط الصحيح للمحراث مع الجرار تحقيق التدابير التالية:

* أن يتقاطع الخط الوهمي الواصل بين مركز الجر TZ ومركز مقاومة الجر PZ مع منتصف المحور الخلفي للجرار (النقطة M)، مما يمنع ظهور القوى الجانبية **(الشكل 31)**.
* أن يتقاطع امتداد الساعدين السفليين مع امتداد الساعد العلوي لمشبك الربط الثلاثي في منتصف المسافة بين المحورين الأمامي والخلفي للجرار، مما يحسن من تحميل المحور الخلفي للجرار، وبالتالي زيادة كفاءة الجر، ويقلل من استهلاك الوقود **(الشكل 32)**.



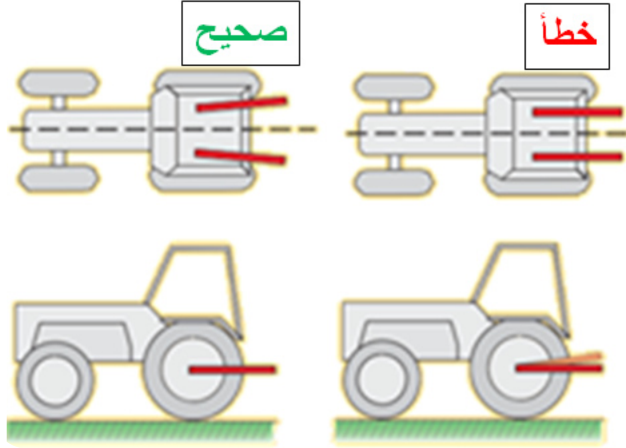
الشكل 32. الربط الصحيح الخاص بتقاطع الساعدين السفليين مع امتداد الساعد العلوي.

* ضرورة تحقيق التجانس بعمق الحراثة في الاتجاهين الطولي والعرضي **(الشكل 33)**.



الشكل 33. الربط الصحيح الخاص بتجانس عمق الحراثة بالاتجاهين الطولي والعرضي.

* ضرورة اعتماد أدوات الربط النظامية وعدم الاجتهاد بتعديلها **(الشكل 34)**.



الشكل 34. الربط الصحيح الخاص باعتماد أدوات الربط النظامية.

3. 1. 2. تقليل عدد الأشواط:

يعد التقليل من عدد الأشواط فوق الأراضي الزراعية أولوية مطلقة، ليس من أجل تقليل استهلاك الوقود فحسب، وإنما للحفاظ على التربة والموارد الطبيعية الأخرى، علماً أن فكرة دمج العمليات الزراعية ضمن فقرة التدابير التنظيمية تتقاطع بالمضمون مع هذه الفقرة، ويمكن تقليل عدد الأشواط من خلال:

- زيادة عرض العمل (وهي الأولوية).
- دمج عدد من العمليات الزراعية بشوط واحد.
- الاستغناء عن العمليات غير الضرورية، أوتخفيفها (مثل استخدام المحراث الحفار بدلاً من المحراث المطرحي القلاب).

وأفضل مثال على دمج العمليات الزراعية هو عملية زراعة القمح؛ إذ يمكن دمج عملية تحضير التربة مع عملية البذر بشوط واحد، وهذا سيؤدي إلى خفض استهلاك الوقود بنسبة لا تقل عن 20 % .

من جهة أخرى يؤدي دمج العمليات الزراعية إلى تحقيق خفض باستهلاك الوقود (غير مباشر)، من خلال تقليل الرص الحاصل في التربة الزراعية؛ وبالتالي تصبح حراثة التربة أسهل وتستهلك وقوداً أقل.

3. 1. 3. التنسيق بين قوة المحرك وعرض العمل والسرعة الأمامية:

من المعروف أن أفضل استهلاك للوقود يكون عند نسبة تحميل معينة للمحرك (80% من الاستطاعة الاسمية)، ويمكن التحكم بنسبة تحميل المحرك بطرائق مختلفة من أهمها زيادة السرعة الأمامية، أو زيادة عرض العمل، لكل من هاتين الطريقتين إيجابيات وسلبيات؛ ويبين **الجدول1** الذي يبين أن كلا الأسلوبين يمكن أن يحقق نسبة تحميل المحرك نفسها والإنتاجية نفسها إلا أن زيادة عرض العمل تتميز بأنها تخفض الاستهلاك النوعي للوقود بالإضافة إلى جودة العمل، وخفض عدد مرات الدوران الميت، أما بالنسبة إلى زيادة وزن مجموعة العمل فيمكن التغلب عليها من خلال زيادة عرض الإطارات.

الجدول 1. مقارنة بين مميزات كل من زيادة عرض العمل وزيادة السرعة الأمامية.

	زيادة عرض العمل	زيادة السرعة الأمامية
نسبة تحميل المحرك	=	=
الإنتاجية	✓	✓
جودة العمل	✓	✗
عدد مرات الدوران الميت	✓	✗
وزن مجموعة العمل	✗	✓
الاستهلاك النوعي للوقود	✓	✗



3. 1. 4. بنية التربة واستهلاك الوقود:

يمكن تحقيق وفورات كبيرة بالوقود عند الحد من حراثة التربة؛ والوفر المباشر هو الوقود الذي لم يستخدم أصلاً لحراثة التربة، أما الوفر غير المباشر فهو ناتج عن تحسين الحياة البيولوجية في التربة، وزيادة نسبة المادة العضوية فيها، ما يقلل من المقاومة النوعية لاختراقها، وبالتالي

تحقيق وفورات إضافية في الوقود، ويساعد التسميد العضوي أيضاً بشكل غير مباشر بتقليل الاستهلاك النوعي للوقود، ولاسيما في عمليات تحضير التربة.

تسبب بعض العمليات الزراعية إثارةً مبالغ بها للتربة (مثل العزاقة الدورانية أو تعدد الحراثات)، وهذا يسيء إلى البنية الفيزيائية للتربة ومحتواها العضوي، بالإضافة إلى زيادة استهلاك الوقود دون مبرر.

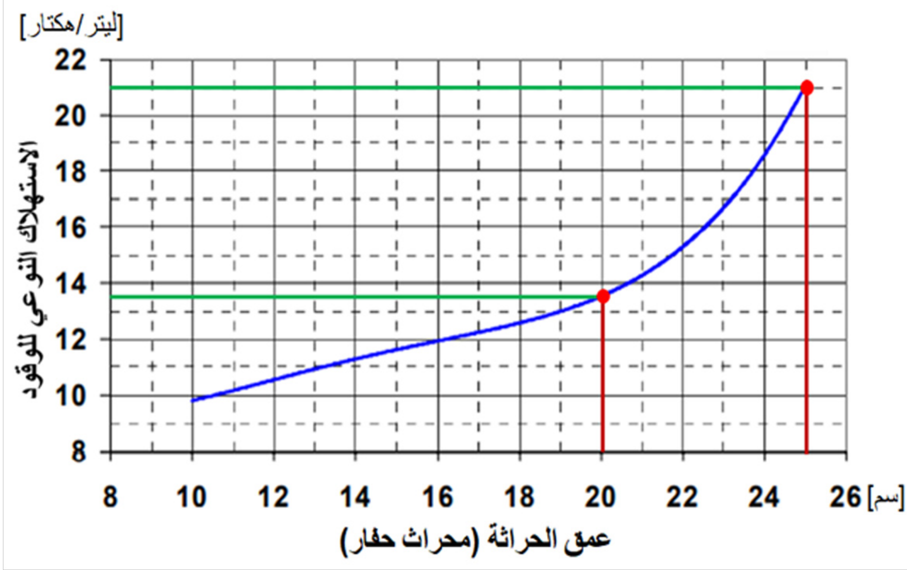


3. 1. 5.اختيار عمق الحراثة:

إن تحريك كل سنتيمتر واحد من سطح التربة يعني تحريك وزن مقداره نحو 150 طن/هكتار، وهذا يتطلب كمية وقود مقدارها من 0.5 إلى 1.4 ليتر/هكتار، لذلك يعد اختيار العمق المناسب لحراثة التربة من أهم العوامل المؤثرة في استهلاك الوقود، ومن المهم عدم تنفيذ حراثة أعمق مما تتطلبه التربة والزراعة.



ويبين **الشكل 35** التالي كمية الوقود التقديرية اللازمة لحراثة التربة بمحراث حفار عند أعماق عمل مختلفة؛ إن تقليل عمق الحراثة بمقدار 5 سنتيمترات فقط (من 25 إلى 20سم) يؤدي إلى توفير نحو 7 ليتر/هكتار، وهي كمية كبيرة نسبية.



الشكل 35. الاستهلاك النوعي للوقود عند الحراثة بمحراث حفار على أعماق مختلفة.

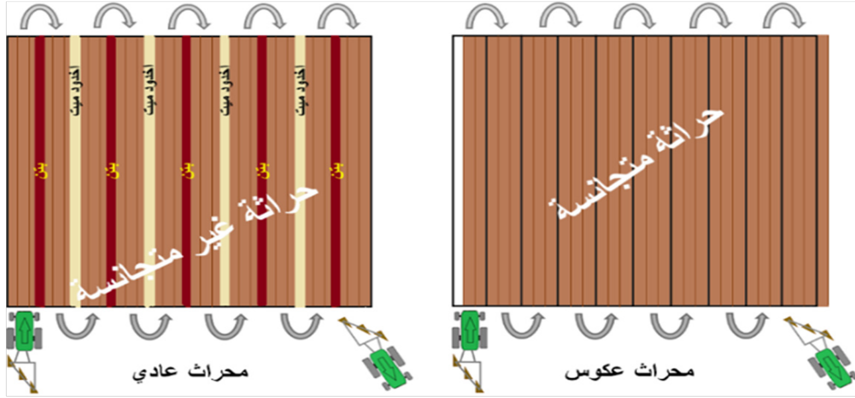
3. 1. 6. تخطيط عملية الحراثة:

عند عمل مجموعة الحراثة في الحقل، يقسم الوقت إلى:

* الوقت الفعال: وهو الفترات التي تعمل خلالها مجموعة الحراثة بشكل منتج.
* الوقت الميت: وهو الفترات التي تتحرك بها مجموعة الحراثة في الحقل، ولكن دون إنتاج، مثل وقت الالتفاف أو السير على أطراف الحقل للوصول إلى بداية الشوط التالي، بحيث يكون موازياً تماماً وملاصقاً للمشوار السابق مع توحيد جهة القلب.

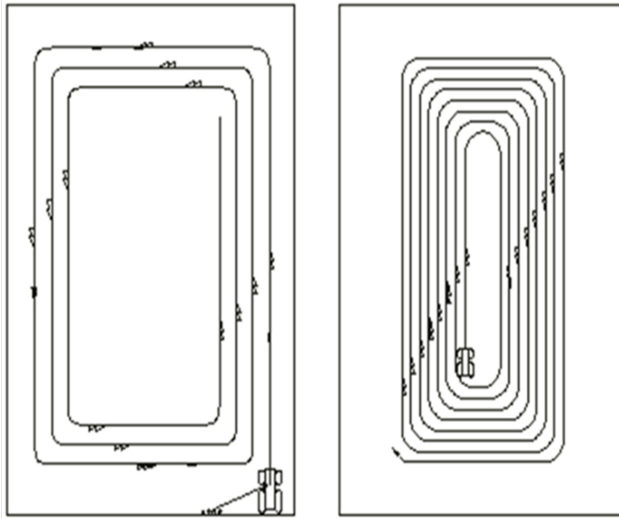
من أجل تحقيق وفورات ملحوظة باستهلاك الوقود يجب العمل على جعل الأوقات الميتة أقل ما يمكن، وهذا يتحقق من خلال:

- استخدام محراث عكوس قادر على تغيير جهة قلبه للتربة في نهاية كل شوط **(الشكل 36)**، وبالتالي البدء بالشوط التالي من المكان نفسه بعد إجراء التفاف وقلب هيكل المحراث العكوس، إلا أن المحراث العكوس غالي الثمن، ويتطلب تقانات خاصة في الجرار، لذلك فهو غير مستخدم في البلاد العربية.



الشكل 36. مقارنة بين نتائج كل من المحراث العكوس والمحراث القلاب العادي (دون تخطيط لحركة مجموعة الحراثة).

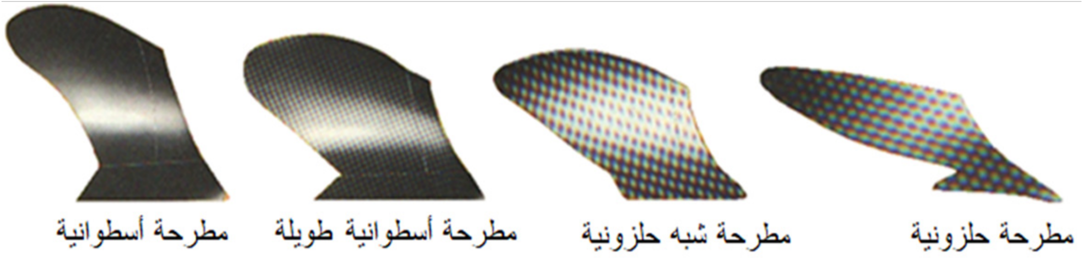
- أو تخطيط حركة مجموعة الحراثة ضمن الحقل **(الشكل 37)** بحيث يحافظ قدر الإمكان على توحيد جهة القلب مع تقليل الوقت الميت وأقل عدد من الأخاديد الميتة والبتون، وهذا يعتمد على الشكل الهندسي للحقل.



الشكل 37. أمثلة على تخطيط حركة مجموعة الحراثة.

3. 1. 7.اختيار نوع المطرحة (المحراث المطرحي):

يوجد عدد كبير من الأشكال لأبدان المحراث المطرحي، وتختلف فيما بينها بشكل المطرحة، ويمكن تمييز أربعة أنواع رئيسية منها **(الشكل 38)**.



الشكل 38. أنواع مطارح أبدان المحراث المطرحي.

تختلف هذه المطارح ليس فقط بشكلها، وإنما بمتطلباتها الفنية ومجال استخدام كل منها. وتمتاز المطارح الأسطوانية بأن درجة تفكيكها للتربة كبيرة جداً، وتبدي التربة تجاهها مقاومة كبيرة، وبالتالي فسرعة عملها محدودة، وتحتاج إلى قوة جر كبيرة نسبياً. بالمقابل تمتاز المطارح الحلزونية بأن درجة تفكيكها للتربة قليلة، وتبدي التربة تجاهها مقاومة قليلة، وبالتالي فهي قابلة للعمل بسرعات أكبر، وتحتاج إلى قوة جر أقل من قوة الجر التي تحتاجها المطارح الاسطوانية. أما المطارح الأسطوانية الطويلة والمطارح شبه الحلزونية، فهي تتدرج بمميزاتها بين المطارح الأسطوانية والمطارح الحلزونية ويوضح **الجدول2** ميزات أنواع المطارح ومجال استخدام كل منها.

إن ترشيد استهلاك الوقود عند الحراثة يرتبط بشكل وثيق بحسن اختيار نوع المطرحة بما يتناسب مع نوع التربة؛ فالحراثة بالمطرحة الاسطوانية في تربة ثقيلة يعد خطأً كبيراً وهدراً في الطاقة علاوة على مجموعة مشاكل تقانية أخرى، والصحيح هو أن تكون المطرحة حلزونية (أو شبه حلزونية)، ولا سيما إذا كانت التربة الثقيلة معشبه، عندها يكون خفض استهلاك الوقود كبيراً جداً، وذلك لاختصار جهد تفكيك الطبقة السطحية المعشبة وقلبها وطمرها كاملة في باطن التربة، هذا بالإضافة إلى تحسين الخواص الفيزيائية والعضوية للتربة.

الجدول 2. مميزات المطارح، وأنواعها، ومجال استخدام كل منها.

شكل المطرحة	نوع المرحة	ارتفاعها	طولها	درجة تفكيكها	قوة الجر اللازمة	سرعة العمل	مجال الاستخدام
	أسطوانية						الأراضي الخفيفة (الرملية)
	أسطوانية طويلة						الأراضي متوسطة القساوة
	شبه حلزونية						الأراضي القاسية والمتوسطة
	حلزونية						الأراضي القاسية المعشبة

إن حسن اختيار نوع المطرحة
مع خفض ضغط الهواء بالإطارات
يمكن أن يقلل استهلاك الوقود حتى
%30

يتحقق ذلك
إذا كانت قيمة الانزلاق النسبي
للاطارات الفائدة حوالي %10 فقط

3. 2. تدابير ترشيد استهلاك الوقود في عمليات النقل فوق الطرق المعبدة:

يحتاج المزارعون لنقل منتجاتهم وأدوات عملهم من مكان إلى آخر، ويكون هذا غالباً فوق الطرق المعبدة، لذلك يمكن استخدام الجرار الزراعي مع مقطورة لنقل المواد الزراعية، أو استخدام شاحنات نقل متوسطة أو كبيرة.

3. 2. 1.ضغط الهواء بالإطارات:

من أهم العوامل التي تؤثر في استهلاك الوقود عند السير فوق الطرق المعبدة (سواء للجرار مع مقطورة أم شاحنات نقل) ضغط الهواء في الإطارات، ويجب أن يكون ضغط هواء الإطارات التي تسير فوق الطرق المعبدة في الحدود العليا المسموح بها، إن زيادة ضغط الهواء بالإطارات من 1.0 إلى 2.0 بار يقلل الاستهلاك النوعي للوقود بنحو 16 %.



إن إعادة ضبط ضغط الهواء في الإطارات كلما انتقلت الآلية من الحقل (يجب أن يكون ضغط الهواء في الحدود الدنيا المسموح بها) إلى الطرق المعبدة (يجب أن يكون ضغط الهواء في الحدود العليا المسموح بها) يكون صعب التنفيذ، لذلك فإن تجهيز الآليات بنظام تحكم ذاتي بضغط الهواء في الإطارات (**الشكل 39**) يعد إجراءاً واجباً من الناحية الاقتصادية، إذ يمكن استرداد ثمنه خلال بضع سنوات فقط.



الشكل 39 . نظام تحكم بضغط الهواء في الإطارات.

3. 2. 2. اختيار وسيلة النقل:

هناك بعض المعلومات التي يجب أخذها بعين الاعتبار عند النقل فوق الطرق المعبدة؛ هي:

- كلما كانت كمية المواد المنقولة أكبر، كان الاستهلاك النوعي للوقود أقل؛ سواء تم النقل بوساطة شاحنات أم جرار مع مقطورة.
- من الضروري تجنب سير وسائل النقل في الحقول لتجنب حدوث الرص في التربة.
- زيادة سرعة مجموعة النقل يقلل من الاستهلاك النوعي للوقود عند العمل فوق الطرق المعبدة.
- محرك السيارات الشاحنة مزود بأنظمة متطورة تخفض استهلاك الوقود مقارنة بالجرار، مما يقلل من استهلاك الديزل إلى نحو 65 % مقارنة باستخدام الجرار.

يمكن نقل المواد الزراعية بطريقتين **(الشكل 40)** :

- إما باستخدام الجرار مع مقطورة لنقل هذه المواد فوق الطرق المعبدة.
- استخدام شاحنات خاصة بالنقل فوق الطرق المعبدة .



الشكل 40. النقل بالشاحنات والنقل بمقطورة جرار.

والسؤال: أي من هاتين الطريقتين هي الأفضل والأقل استهلاكاً للوقود؟

لا يمكن الإجابة على هذا السؤال بشكل مطلق، وإنما الإجابة تكون نوعية وحسب ظروف كل حالة، وللمساعدة على دراسة وتقييم كل حالة، فيما يلي إيجابيات وسلبيات مجموعة من نقاط المقارنة لكل من النقل بالشاحنات والنقل بالجرار مع مقطورة **(الجدول 3)**.

الجدول3. مقارنة بين النقل بالشاحنات والنقل بالجرار مع مقطورة.

نقاط المقارنة	النقل بالشاحنات	النقل بالجرار مع مقطورة
• إمكانية النقل في الحقول	☹	☺
• رأس المال التأسيسي	☹	☺
• استهلاك الوقود	☺	☹
• سرعة إنجاز العمل (الإنتاجية)	☺	☹
• إمكانية التحميل الجيد للمحرك	☺	☹

مما سبق يلاحظ أنه من الصعب البت في مسألة أي الأسلوبين هو الأفضل بالمطلق، فلكل منهما إيجابيات وسلبيات؛ وكخلاصة عند النقل ينصح بالتالي:

- **فصل النقل الطرقي عن النقل الحقلي.**
- **زيادة كمية المنتجات المنقولة.**
- **ضرورة ضبط ضغط الهواء بما يتناسب مع أرض الاستناد.**
- **تقليل الحركة في الحقول لتقليل الرص في التربة.**
- **استخدام نظام التحكم الذاتي بضغط الهواء في الإطارات.**

3 .3. تدابير ترشيد استهلاك الوقود في عمليات الخدمة الزراعية:

تعد تدابير ترشيد استهلاك الوقود عند عمليات الخدمة محدودة نسبياً مقارنة بتدابير ترشيد استهلاك الوقود عند العمليات الزراعية الأخرى، ولا سيما تحضير التربة. يصعب تحديد تدابير خاصة بكل عملية من عمليات الخدمة الزراعية على حدة، لأنها متنوعة، لذلك ستكون التدابير عامة غالباً بحيث تشمل جميع عمليات الخدمة مع التخصيص عند الزوم فقط.

* تعتمد معظم عمليات الخدمة على معدات ملحقة بالجرار تكون محمولة أو مقطورة، وهذا يؤدي إلى تغير توزيع الأحمال على محاور الجرار والآلة الزراعية أيضاً، لذلك **يجب الانتباه**

إلى حالة الحمولات النهائية، بحيث نضمن أفضل تحميل للإطارات القائدة وضمان التوجيه للإطارات المنقادة.

* تعد قيادة المحرك، العامل الأهم لترشيد استهلاك الوقود عند عمليات الخدمة المختلفة، إذ يجب قيادة المحرك عند سرعة دوران تعادل 60 إلى 70 % من سرعة دورانه الاسمية تقريباً، وهذه تعادل سرعة دوران للمحرك نحو 1300 إلى 1700 دورة/دقيقة.

* تحدد الحالة الفنية للآلة الزراعية وكذلك معايرتها كمية الوقود المستهلك؛ ففي حالة المحشات وآلات حصاد الحبوب من المهم جداً أن تكون أدوات القطع حادة ومعايرة بشكل جيد.

يفضل أن تعتمد بعض عمليات الخدمة المنفذة مع الجرار ليس على قوة الجر فحسب، وإنما على محور الإدارة الخلفي أو القيادة الهيدروليكية أيضاً. ويمكن استخدام مجموعة بذر (تنعيم + بذر) مقطور خلف الجرار بشكلين مختلفين:

الأول: تكون أدوات التنعيم مجرورة.

الثاني: تكون أدوات التنعيم دوارة أو اهتزازية تستمد حركتها من محور الإدارة الخلفي للجرار.

إن اعتماد الشكل الثاني هو الأفضل، إذ أن جودة التنعيم تكون أفضل، والاستهلاك الإجمالي للوقود أقل.

* بما أن جميع عمليات الخدمة لا تتطلب سوى استطاعة محدودة (مقارنة بالاستطاعة اللازمة لعمليات تحضير التربة)، فإنه يجب عدم استخدام جرارات كبيرة (وبالتالي وزن كبير واستهلاك كبير للوقود)، وإنما الاعتماد على الجرارات الصغيرة والمتوسطة.

* إن التحضير الجيد قبل البدء بعملية الخدمة يحقق وفورات باستهلاك الوقود، لأنه ينظم الجهد والوقت؛ مثلاً: يجب معايرة آلة توزيع البذار قبل إدخالها إلى الحقل، وإلا قد يحتاج الأمر إلى توقفات عديدة، أو إعادة لبعض الأشواط، وهذا يتطلب المزيد من الوقت والجهد والوقود.

* إعطاء الأولوية لزيادة عرض العمل على زيادة السرعة الأمامية، والتنسيق بين قوة المحرك وعرض العمل والسرعة الأمامية.

3. 4. تدابير ترشيد استهلاك الوقود في عمليات الجني:

تتميز آليات الجني بأن معظمها كبير الحجم والوزن، فلها خصوصيتها حتى في تدابير ترشيد استهلاك الوقود؛ الخصوصية الأهم هي قيمة ضغط الهواء في الإطارات، المعروف توصية خفض ضغط الهواء في الإطارات عند الأعمال الحقلية، أما آليات الجني فإنها مستثناة من ذلك **(الشكل 41)** بسبب الأوزان المحورية الكبيرة جداً التي تؤثر في إطاراتها (نحو 10 طن على كل إطار)، لذلك يسمح أن يكون ضغط الهواء في إطاراتها بحدود 2 بار.



الشكل 41. إطارات آليات الجني.

هناك مجموعة من التدابير والتوصيات تشمل جميع آليات الجني تلخص بما يلي:

* العمل على تقليل الأوزان الشاقولية (الأوزان المحورية) قدر الإمكان.
* تقليل عدد العمليات الجزئية للجني (تقليل عدد الأشواط أيضاً).
* ضرورة استخدام إطارات خاصة (عرض كبير) لعدم كفاية خفض الضغط فيها.
* ضرورة التفريغ المستمر لخزان المحصول وذلك لتخفيف الأوزان الشاقولية.
* زيادة عرض العمل بشكل عام.
* التخطيط المناسب لسير الآلية بهدف تقليل عدد مرات الدوان والوقت الميت.
* صيانة المعدات والمحافظة على حواف أسلحة القطع حادة.
* التنسيق بين قوة المحرك وعرض العمل والسرعة الأمامية، وإعطاء الأولوية لزيادة عرض العمل على زيادة السرعة الأمامية.
* يراعى في آلات جني وفرم الأعلاف عدم المبالغة في تنعيم المواد المفرومة.

3. 5. تدابير ترشيد استهلاك الوقودعند تشغيل محور الإدارة:

معظم المعدات الزراعية تعتمد في عملها على استطاعة الجر، كما يوجد بعض المعدات تعتمد في عملها على الاستطاعة الدورانية التي يتم الحصول عليها من محور الإدارة، **(الشكل 42)**. ويكون محور الإدارة عادة في مؤخرة الجرار، إلا أن بعض الجرارات تكون مزودة بمحور إدارة أمامي إضافة إلى محور الإدارة الخلفي.





الشكل 42: يمين: آلة يتم تشغيلها من محور الإدارة الخلفي للجرار.
يسار: محور الإدارة الخلفي مع وصلة نقل الحركة.

من أجل ترشيد استهلاك الوقود عند تشغيل محور الإدارة يوجد بعض النصائح العامة:

- **يجب تشغيل محور الإدارة عند سرعة الدوران الاقتصادية للمحرك (1300 إلى 1700 دورة / دقيقة)** والتي تعطي أفضل عزم دوران لمحور الإدارة وسرعة دوران جيدة، وهذا يتحقق عند سرعة دوران محرك 1550 دورة / دقيقة تعادل 1000 دورة / دقيقة لمحور الإدارة، وعندها يمكن توفير نحو 35 % من استهلاك الوقود مقارنة بتشغيل محور الإدارة عند سرعة دوران محرك 2000 دورة / دقيقة.

- عند استخدام محاور الإدارة يكون تحميل المحرك منخفضاً عادة، وبالتالي يكون الاستهلاك النوعي للوقود مرتفعاً نسبياً، لذلك **يفضل زيادة تحميل الآلة الزراعية، وبالتالي زيادة تحميل المحرك ليعمل في المجال الاقتصادي لاستهلاك الوقود.**

يفضل تشغيل محور الإدارة
على سرعة دوران 1000 دورة/دقيقة
تعادل
سرعة دوران للمحرك 1500 دورة/دقيقة
وهي تقع ضمن سرعة الدوران الاقتصادية للمحرك
بين (1300 و 1700 دورة/دقيقة)
وهذا يقلل 35% من الوقود المستهلك
مقارنة بحالة التشغيل عند سرعة دوران للمحرك
2000 دورة/دقيقة



- إن زيادة سرعة دوران محور الإدارة يعني انخفاض قيمة عزم الدوران.
- يجب عدم المبالغة بخفض سرعة دوران محور الإدارة (أقل سرعة دوران لمحور الإدارة 540 دورة/دقيقة).
- يتم الوصول إلى السرعة الإسمية لمحور الإدارة عند سرعة محرك تتراوح بين 65 و 70 % من السرعة الإسمية.
- عند العمل بالاعتماد على محور الإدارة يجب الحفاظ على السرعة الأمامية للجرار ثابتة قدر الإمكان من أجل ضمان تأثير العمل المتساوي.

****
****
****

المراجع العربية:

- الإسكوا، 2007. ترشيد استهلاك الطاقة وتحسين كفاءتها في القطاعات العليا لإنتاج الطاقة، تقرير.
- الإسكوا، 2019. الطاقة الحيوية والتنمية المستدامة، ورقة فنية.
- زريبة، ن. ع. 2014. فرص ترشيد استهلاك الطاقة في الدول العربية. مؤتمر الطاقة العربي العاشر، أبو ظبي.
- حبوب، ن. 2009. الآلات الزراعية، منشورات جامعة دمشق.
- حبوب، ن. 2018. تأثير الحالة الفنية لمداس الإطارات القائدة في كفاءة مجموعة الحراثة، (قيد النشر) في المجلة العربية للبيئات الجافة.
- مراد، ر. ا. 2019. أسس الميكنة الزراعية الجزء الأول (الجرارات الزراعية) – مكتبة زرقاء اليمامة/مصر.
- خيري، م. ف. 2008. القوى والجرارات الزراعية – منشورات جامعة الأزهر/ مصر.

المراجع الأجنبية:

- BRUNOTTE, D. 2000. Antriebsstrategie für den Teillastbereich beim Traktoreinsatz. Landtechnik 55 H. 5.
- BRUNNHUBER, M. 2005. Untersuchungen zum Kraftstoffverbrauch bei Ackerschleppermotoren. Bachelorarbeit Universität Hohenheim.
- FRÖBA, N.M. FUNK. 2004. Teilzeitspezifische Dieselbedarfskalkulation bei landwirtschaftlichen Arbeiten. Landtechnik 59 H. 1.
- FILIPOVIC, D.,S. KOSUTIC and Z. GOSPODARIC. 2004. Energy Efficiency in Conventional Tillage of Clay Soil. Conference proceedings, Rousse, Bulgaria.
- HOLZ, W. 2006. Kraftstoffverbrauch und Leistungen von Ackerschleppern II. Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft (RKL), Rendsburg.
- HÖNER, G. 2004. Besser Pflügen und30 % Kraftstoff sparen. TopAgrar, Heft 10.

- ISENSEE, E and, M. THIESSEN. 2001. Vergleich von lastschaltbaren mit stufenlosem Getriebe bei schwerer Zugarbeit. Landtechnik 56 H. 3.
- KALK W. and, K. HÜLSBERGEN. 1999. Dieselkraftstoff-einsatz in der Pflanzenproduktion. Landtechnik 54 H. 6.
- KUTZBACH, H-D. 1989. Lehrbuch Agrartechnik Band1: AllgemeineGrundlagen– Ackerschlepper– Fördertechnik;Verlag Paul Parey.
- LAMPEL, H. 2006. Was sagen die Leistungsdaten eines Traktormotors aus? Landwirtschaftliches Tagebuch, Helgu Verlag.
- MACK, G., A. ZIMMERMANN, T. KRÄNZLEIN. 2008. Energieaufwandfürdie Bereitstellungvon Grund- und Kraftfutter. InEnergieeffizient Land wirtschaft, KTBL-Schrift463, Darmstadt.
- MATTHIES, H. J. and F. MEIER. 20001. Jahrbuch Agrartechnik, Band 13.
- Mc LAUGHLIN, N. B. and E. G. GREGORICH. 2002. Effect of organic and inorganic soil nitrogen amendments on moldboards plow. Soil & Tillage Research, Volume 64.
- MOITZI, G. 2005. Kraftstoffeinsatzinder Pflanzenproduktion. Institut für Landtechnik, Department fürnachhaltige Agrarsysteme, Universität für Bodenkultur.
- MOITZI, G. 2006. Möglichkeiten zur Kraftstoffeinsparung, online-Fachzeitschrift des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft.
- MUMME, M. 2007. Kraftstoffverbrauch und Schlagkraft bei verschiedenen Bodenbearbeitungs-und Bestellverfahren. DLG-Testzentrum.
- ÖKL 2008. ÖKL-Richtwerte für die Maschinenselbstkosten 2008. Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung.
- OSETINSKY, A. , I. SHMULEVICH. 2004. Traction Performance Simulation of a Pushed/Pulled Driven Wheel. H. 4.
- RENIUS, K. and R. RESCH. 2003. Motoren und Getriebe bei Traktoren. Jahrbuch Agrartechnik, Band 15.

- REISER, W. 1997. Ermittlung von motor- und verbrennungstechnischen Kenndaten an einem Dieselmotor mit Direkteinspritzung bei Betrieb mit unterschiedlich aufbereitetem Rapsöl. Dissertation Universität Hohenheim.

- RYU, I.H., D.C. KIM, and K.U. KIM. 2003. Power efficiency characteristics of a tractor drive train. Trans. ASAE 46 H. 6.

- SEEGER, J. 2001. Antriebsstrangstrategien eines Traktors bei schwerer Zugarbeit. Dissertation TU Braunschweig.

- SCHUTTE, B. 2005. Bestimmung von Bodenunterschieden durch Zugkraftmessung bei der Bodenbearbeitung. Dissertation Universität Hohenheim.

- SCHUTTE, B. , L. HERRMANN and M. SCHREIBER. 2004. Die Kartierung des Kraftstoffverbrauchs. Landtechnik 59 H. 3.

- THULLNER, C. 2005. Vergleich des Kraftstoffverbrauchs von Diesel und Biodiesel bei Ackerschleppermotoren. Bachelorarbeit Universität Hohenheim.

- VOLK, L. 2004. Bodenschonung mit Reifenregler - Technik und Wirtschaftlichkeit. Fachhochschule Südwestfalen, Vortrag DLG.

- VOLK, L. 2006. Reifenwahl–wasbringen neueReifenkonzepte, Landwirtschafts kammer Westfalen-Lippe, Münster.

- WEISSBACH, M. 2003. Landtechnische Untersuchungen zur Wirkung bodenschonender Fahrwerke an Schleppern und Arbeitsmaschinen mit verschiedenen Radlasten. Habilitation, Universität Kiel.

- WÖRZ, M. 2002. Untersuchungen zum Kraftstoffverbrauch. Bachelorarbeit Universität Hohenheim.